
ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ЗАЛЕЖЕЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА БАЙКАЛЕ

А.Е. Воробьёв, Ч.Ц. Рыгзынов

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 115093

Рассмотрены динамики возникновения гидратопроявлений на оз. Байкал для разработки научно обоснованных технологических и технических мероприятий для предотвращения аномальных выбросов метана из газогидратных залежей, а также минимизации последствий чрезвычайных ситуаций на акваторию и прибрежные районы. Проведена классификация залежей газогидратных месторождений оз. Байкал по степени опасности.

Ключевые слова: газовые гидраты, газопроявления, чрезвычайные ситуации, степень опасности, мониторинг гидратопроявлений, озеро Байкал.

Согласно закону от 11.02.2013 № 9-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» под чрезвычайной ситуацией (ЧС) понимается обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления и т.д., которые могут повлечь или повлекли за собой жертвы или ущерб здоровью людей и окружающей среде (ст. 1). Основными целями настоящего Закона являются: предупреждение возникновения и развития ЧС; снижение размеров ущерба и потерь от ЧС; ликвидация ЧС; разграничение полномочий в области защиты населения и территорий от ЧС между федеральными органами исполнительной власти и т.д.

Демографический рост населения и социально-экономические изменения в мире увеличивают потребность освоения территорий для хозяйственных нужд и проживания людей, что, в свою очередь, увеличивает вероятность развития опасных процессов.

В XX в. наблюдается тенденция увеличения числа природных катастроф в 20 раз. В мире регистрировалось в начале столетия в среднем 10 крупных природных катастроф в год, в середине века — 65, а в конце XX в. уже почти 200. В результате стихийных бедствий в мире погибло более 8 млн человек за одно столетие, в том числе от наводнений — почти 32%, от тропических штормов — 32%, от землетрясений — 11%, от засухи — 10% [1].

Материальные потери из-за природных катастроф в последнее время возрастают. С периодичностью 7 лет экономические потери возрастают в 2 раза, эта тенденция выявлена за последние 50 лет.

В период с конца XX в. по начало XXI в. экономический ущерб, нанесенный только шестью видами опасных природных процессов, составил в среднем 150 млрд долл. в год, при этом в последнее время из-за разрушительных природных явлений за этот период количество жертв увеличивается на 4,3%, а пострадавших — на 8,6% [1].

Россия входит в пятерку экспортеров энергетического сырья в мире, встает вопрос о сохранности сооружений добычи и разработки при нарастании угроз

в природно-техногенной сфере, а техногенные и природные катастрофы становятся постоянно действующими факторами. Среднестатистически ежегодно в России происходит до 240 ЧС природного характера (рис. 1).

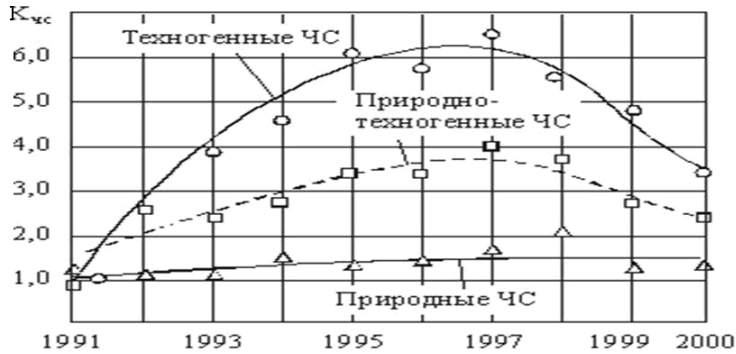


Рис. 1. Динамика коэффициента относительного роста числа чрезвычайных ситуаций (<http://www.900igr.net>)

По данным МЧС России, наиболее частыми природными ЧС являются следующие: явления атмосферного характера (ураганы, бури, смерчи, шквалы) — 28%; землетрясения — 24%; наводнения — 19%; оползни и отвалы — 4%; лесные пожары и т.д. — 25%.

Байкал является глубочайшим озером на Земле и одним из самых больших по площади. Он занимает центральную часть Байкальской рифтовой зоны. Длина озера составляет 635 км, ширина — от 25 до 80 км, максимальная глубина — 1642 м. Мощность осадочных пород во впадинах оз. Байкал достигает 8—10 км. Скорость осадконакопления оценивается в среднем — 4 см/1000 лет.

Следует отметить, что при сейсмондировании в период 1997—2007 гг. было выявлено широкое распространение на дне Центральной и Южной котловин озера залежей газовых гидратов (ГГ) в донных отложениях озера (рис. 2).

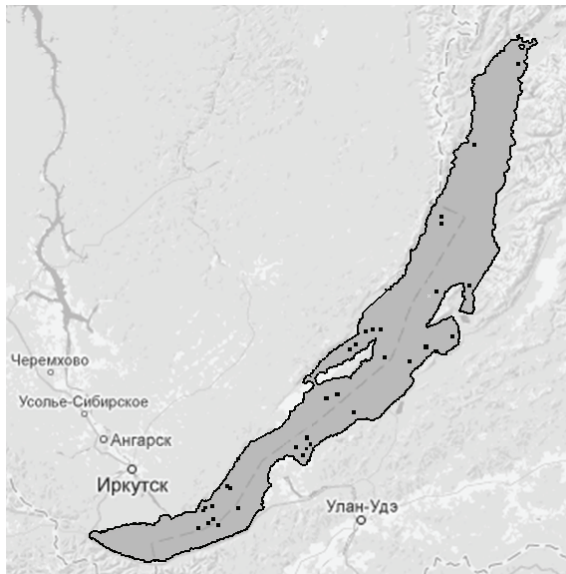


Рис. 2. Схема расположения залежей газовых гидратов

Были выявлены разрывы границ зоны стабильности гидратов (ЗСГ): (грязевые вулканы Маленький, Большой, Старый и т.д.), которые могут привести к нарушению залежей ГГ и высвобождению метана.

Районы интенсивной разгрузки газа и наличия больших запасов газа, по мнению многих исследователей, определяют формирование пропарин в ледовом покрове озера (рис. 3), например в районе усть-селенгинской депрессии.

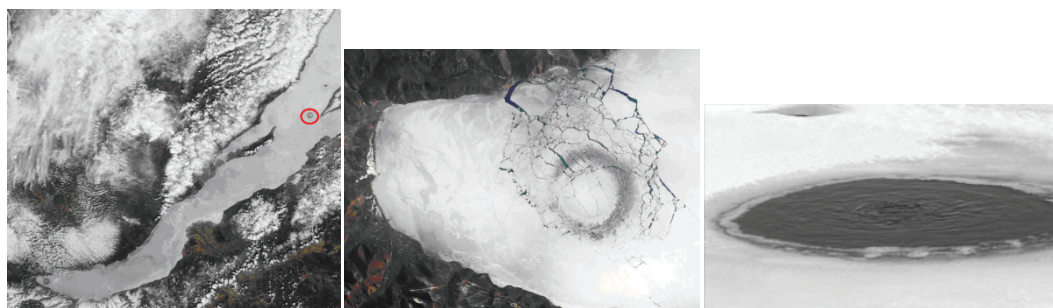


Рис. 3. Выходы газа со дна оз. Байкал
(<http://www.magicbaikal.ru>)

В связи с тем, что газовые гидраты крайне чувствительны к изменениям параметров внешней среды ($P + T$), требуется оценить их предполагаемое влияние на окружающую среду и возможные чрезвычайные ситуации при быстротекущем (практически мгновенном) разложении большого массива спрессованных гидратосодержащих пород в разжиженную массу и к высвобождению огромного количества газа (метана) — в 1 м^3 гидратов содержится $16 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$ [2; 3].

Выделение такого значительного объема метана (при общей толщине газогидратов на Байкале, равной 200—220 м) может ускорить процессы глобального потепления, что, в свою очередь, вызовет циклическую реакцию дальнейшего разложения ГГ (не только на Байкале, но и в других акваториях).





В связи с активизацией сейсмоактивности байкальского региона (наблюдаемой в последнее время) есть основания предполагать возможное влияние подобных процессов на разрушение залежей аквальных гидратов оз. Байкал.

Для оценки возможных самопроизвольных выбросов больших количеств метана необходимо организовать мониторинг и картографирование газовыделений на оз. Байкал (особенно в районе авандельты р. Селенги и в заливе Провал, где наблюдается максимальный дебит газовыделений).

Нами была разработана классификация аквальных залежей ГГ по степени их опасности для окружающей среды (табл. 1). Даже довольно небольшое изменение температуры или давления может привести к превращению прочно сцементированных гидратосодержащих пород в разжиженную массу и к освобождению огромного количества газа, делающего этот процесс необратимым (теплота разложения гидрата метана на газ и жидкую воду составляет $54,2 \text{ кДж/моль}$).

Таблица 1

Классификация газогидратных залежей оз. Байкал по степени опасности

Вид ЧС	Кагастрофы, связанные с выбросом CH ₄ из ГГЗ	По масштабу распространения	Характер экологического проявления ЧС	Характеристика показателей залежей газовых гидратов	Типы газогидратных структур	Причины возможных кагастрофических разрушений ГГЗ
Природные	Образование цунами	Локальные	Изменение состояния, состава и свойств гидросферы	Глубина залегаения под дном воды	 Массивная	Землетрясение
				Низкие пластовые температуры		
Техногенные	Образование подводных оползней	Местные	Изменение состояния, состава и свойств атмосферы	Плотность и состав природного газа	 Корковая	Потепление водной массы
				Различные гидратообразующие компоненты		
	Нарушение стабильности дна акватории			Пористость отложений или коэффициент гидратонасыщения (степень заполнения гидратами порового пространства)	 Порфировая	Изменение состава прилегающих вод
				Воздействие на прибрежные территории		
	Эманации парниковых газов в гидросферу, а затем – в атмосферу	Региональные		Кoeffициент расширения при разложении гидратов метана	 Линзовидная	Неэффективная разработка
				Размеры залежей (площадь)		

Стабильность аквальных газогидратных залежей сохраняется только при четко определенных условиях: глубины залегания под дном воды; низких пластовых температур воды; плотности и состава природного газа; различных гидратообразующих компонентов; пористости отложений или коэффициента гидратонасыщения (т.е. степени заполнения гидратами порового пространства); коэффициента расширения при разложении гидратов метана и площади залежей.

Различное природное или техногенное изменение термобарических условий в придонной зоне с газовыми гидратами нарушает исходное равновесие в ЗСГ, в результате чего происходит их деформация и разрушение.

Инициаторы этих процессов могут быть самые разнообразные: быстрое накопление осадочной толщи; тектоническое поднятие или локальное растяжение земной коры; миграция флюидов (это жидкие и газообразные компоненты магмы и/или насыщенные газами растворы, циркулирующие в земных глубинах); оползни в акватории [4].

Нарушение стабильности залежей газовых гидратов по причине природного и техногенного характера может привести к их мгновенному (катастрофическому) разрушению.

Причинами возможных катастрофических разрушений ГГЗ могут послужить землетрясения, резкое потепление воды в акватории, изменение состава прилегающих вод (за счет поступления более теплых течений), а также неэффективная разработка, повлекшая их разрушения и т.д.

Наиболее катастрофичное землетрясение (Цаганское землетрясение) произошло в 1862 г. Его магнитуда составляла 7,5, а интенсивность сотрясений в эпицентре — 10 баллов, что привело к подтоплению территории (Цаганской степи) площадью 230 км², в дальнейшем на этом месте образовался новый залив Провал.

В летописи «Каталог землетрясений Российской Империи» (И. Мушкетов и А. Орлов, 1893 г.) описан фактор присутствия извержения горячего газа: «...вода, потопившая Цаган в первый день, была теплее летней... скот, бродивший в ней, не замерзал в течение 1,5 суток; точно так же и буряты, лазившие в воду... за своими... пожитками, не чувствовали в первое время никакого холода» (с. 366), притом что землетрясение произошло в середине января, когда среднемесячная температура воздуха составляет в этом регионе –33 °С.

В настоящее время в пределах Байкальской рифтовой зоны отмечаются более 3 тыс. сейсмических толчков в год магнитудой от 1,7 и выше.

За последние 200—300 лет в пределах БРЗ отмечено около 30—40 сильных землетрясений с $M \geq 6,0$, а с учетом палеоземлетрясений почти в 2 раза больше.

Наиболее активные сейсмические процессы для территории Байкальской котловины ориентированы по простиранию БРЗ в направлении северо-восток — юго-запад. Чаще всего происходят землетрясения в пределах котловины — район дельты р. Селенги и о. Ольхон, а также юго-западная часть п-ва Святой Нос.

При анализе эпицентров землетрясений на оз. Байкал за последнее десятилетие фиксируемых землетрясений, относящаяся к чрезвычайно слабым магнитудам ($M < 2,3$), не была отмечена (рис. 4) в связи с тем, что, вероятно, они не сильно влияют на ЗСГ.

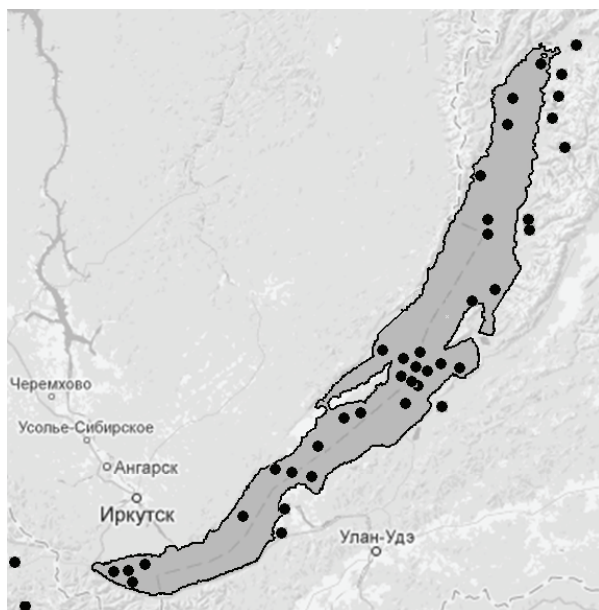


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений ($M = 3,5—6,5$) оз. Байкал и прибрежной акватории за период 2002—2012 гг.

В пределах Байкальской котловины за последнее десятилетие произошло четыре землетрясения ($M \geq 5$), которые относятся к разряду опасных для приповерхностного газогидратного слоя.

На стадии подготовки основного толчка по мере возрастания упругих напряжений в породах происходит образование многочисленных трещин, сопровождающихся возникновением упругих колебаний. При этом происходит ускоренное выделение газов.

В основном уровень залегания подошвы сейсмоактивного слоя составляет 30 км. В связи с тем, что верхняя часть разреза в пределах котловины представлена осадочными отложениями, она является малопрочной средой, которая не способна выдерживать напряжения, достаточные для возникновения сильных землетрясений.

Для предотвращения опасного воздействия процессов миграции углеводородов на экосистему оз. Байкал необходимо проводить соответствующие исследования и мониторинг возможных опасностей.

Необходимо также исследовать степень гидрофлюидной устойчивости газогидратного слоя на дне Байкала в условиях исключительно высокой динамики проявления современных геологических процессов.

Постоянное изучение процессов газовыделения на Байкале необходимо, так как в условиях активизации тектонических движений возможен самопроизвольный выброс больших количеств метана, что может повлиять на экосистему озера и значительно сказаться на прибрежной зоне [5].

С процессами разрушения газогидратного слоя связывают развитие таких опасных процессов, как подводные оползни и обвалы.

Инициаторы этих процессов могут быть самые разнообразные: вулканическая деятельность, понижение уровня мирового океана, повышение температуры у основания зоны стабильности за счет продолжающегося процесса седиментации и, наконец, антропогенный фактор, т.е. любые процессы, ведущие к снижению давления либо повышению температуры (рис. 5).



Рис. 5. Воздействие гидратов на окружающую среду и производственные процессы (по данным ВНИИОкеангеологии им. И.С. Грамберга)

При анализе измерения температуры воздуха в котловине Байкала за последнее 100 лет выявлено, что температура воздуха увеличилась в среднем на 1,2 °С, что по показателям в среднем по земному шару в 2 раза быстрее. Данный фактор дает опасение предполагать изменение термобарических условий в придонной зоне ГГ, которые могут нарушить равновесия ЗСГ.

Разрушение газогидратов при погружении осадочной толщи ниже нижней границы их стабильности приводит к возникновению значительных скоплений свободного газа (рис. 6).

Краткотечное разложение аквальной залежи газогидратов представляет значительную опасность прежде всего для людей, населенных пунктов и предприятий, расположенных в прибрежной зоне Байкала, в основном за счет образования и последующего воздействия мощных волн (получивших название «сейш»).

Так, кинетическая энергия подобных волн высотой 1 м, протяженностью 1 км побережья с периодом 10 сек. развивает мощность более $26,1 \cdot 10^6$ Дж/сек. или около $14,2 \cdot 10^3$ Дж/сек. на 1 м берега (в зависимости от района и рельефа прибрежного дна).

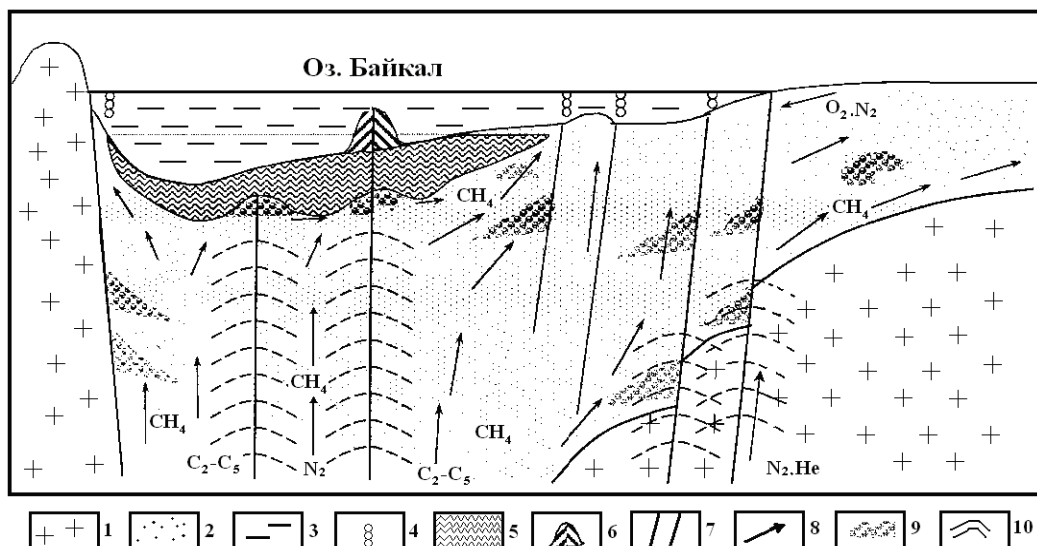


Рис. 6. Принципиальная схема формирования газовых потоков, пропарин и грязевых вулканов на оз. Байкал (по Исаеву В.П., 2001 г.):

1 — магматические и метаморфические породы; 2 — осадочная толща; 3 — водная толща Байкала; 4 — пропарины; 5 — газогидратный слой; 6 — грязевой вулкан; 7 — разломы; 8 — направления газовых потоков; 9 — скопления горячих газов; 10 — тепловые потоки

При сейсмах происходит колебание всей массы воды, при котором возникает одна или несколько узлов сейши. Если узлы сейши ударяются в береговые расщелины, то вода может подняться на 100—200 м по побережью, при этом захватывается и сжимается до большого давления находящийся в ущелье объем воздуха и возникает эффект схожий с пневмовыстрелом (давление может достигать до 65—85 т/м²).

Промышленное извлечение газа из акватории уменьшит его избыточное количество и снизит пластовое давление, что приведет к уменьшению или полному прекращению естественных газопроявлений, которые наблюдаются в настоящее время.

Кроме этого, существенный экономический эффект связан с переводом энергетической отрасли байкальского региона на газ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Осипов В.И.* Природные опасности и стратегические риски в мире и в России // *Экология и жизнь*. — 2009. — № 11—12. — С. 6—15. [*Osipov V.I.* Prirodnye opasnosti i strategicheskie riski v mire i v Rossii // *Ekologija i gizn*. — 2009. — N 11—12. — S. 6—15.]
- [2] *Воробьев А.Е., Малоков В.П., Рыгзынов Ч.Ц.* Экспериментальное исследование образования газовых гидратов // *Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования»*. — 2012. — № 2. — С. 85—93. [*Vorobiev A.E., Malukov V.P., Rygzynov Th.C.* Eksperimentalnoe issledovanie obrazovanija gazovyh gidraov // *Vestnik RUDN*. — 2012. — N 2. — S. 85—93.]
- [3] *Воробьев А.Е., Малоков В.П., Рыгзынов Ч.Ц., Молдабаева Г.Ж.* Экспериментальное исследование влияния газов на образование газогидратов // *Нефтегазовые технологии*. — 2011. — № 11. — С. 32—36. [*Vorobiev A.E., Malukov V.P., Rygzynov Th.C., Moldabaeva G.G.* Eksperimentalnoe issledovanie vlijanija gazovyh na obrazovanija gidraov // *Neftegazovye tehnologii*. — 2011. — N 11. — S. 32—36.]

- [4] Воробьев А.Е., Малоков В.П., Рыгзынов Ч.Ц. Осложнения при гидратопроявлениях в акваториях Баренцева моря и озера Байкал: Монография. — М.: Изд-во РУДН, 2010.
- [5] Воробьев А.Е., Малоков В.П., Молдабаева Г.Ж., Рыгзынов Ч.Ц. Экспериментальное обоснование влияния состава газов на образование аквальных газогидратов // Известия НАН Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. — Алматы (Казахстан). — 2011. — № 5 (433). — С. 67—72. [Vorobiev A.E., Malukov V.P., Moldabaeva G.G. Eksperimentalnoe obosnavaniya vlijaniya gazovyh na obrazovaniya akvalnyh gidraov // Izvestia NAN Respubliki Kazahstan. — Almaty (Kazakstan). — 2011. — N 5 (433). — S. 67—72.]

PROBABILITY OF EMERGENCY FOR THE DESTRUCTION OF GAS HYDRATE DEPOSITS AT BAIKAL

A.E. Vorobev, Ch.Ts. Rygzynov

Subdepartment of oil-field geology, mining, oil and gas engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moskow, Russia, 115093

We consider the dynamics of a manifestation of hydrates on the lake. Baikal for the development of science-based technological and technical measures to prevent the abnormal emissions of methane from gas hydrate deposits, as well as minimize the impact of emergencies on the waters and coastal areas. The classification of the lake deposits of gas hydrate deposits. Baikal is the degree of danger.

Key words: gas hydrates, gas showings, emergencies, the degree of hazard monitoring manifestations of hydrates, Lake Baikal.