ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ КАК ИНДИКАТОР ОБСТАНОВКИ ГЕНЕРАЦИИ ВОДНЫХ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Федоров Ю.А.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, fed29@mail.ru

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрены геологическое строение и деятельность наземных и подводных грязевых вулканов Таманского полуострова и Темрюкского залива Азовского моря. Изучен изотопный состав углерода нефтяных компонентов и метана, серы сульфида железа, водорода и кислорода водных флюидов грязевых вулканов. Установлены диапазон температуры и глубины, на которых могли залегать очаги водных и углеводородных флюидов.

1. ВВЕДЕНИЕ

Грязевые вулканы всегда представляли большой интерес не только как объекты научного познания, но и как образования, вызывающие пристальное внимание туристов, а также людей, страдающих различными заболеваниями. Причиной проявления интереса к ним последней категории граждан служат месторождения лечебных грязей, образующихся в результате деятельности наземных и подводных вулканов.

Генерация ими лечебных грязей происходит либо в режиме непрерывного, спокойного излияния на дневную поверхность небольших количеств полужидких глинистых образований вместе с подземными водами и газами, либо при взрывоподобном извержении тех же веществ. Кроме блага, которое приносит вулканическая деятельность в виде излияния серо-голубой лечебной грязи, имеются и негативные последствия влияния на окружающую среду таковой. Это мощные извержения и сопутствующие им землетрясения, а также опасность образования провалов. Размеры кратеров и сальз наземных грязевых вулканов варьируются от нескольких десятков сантиметров до первых метров.

В настоящее время, характерным примером перманентного, но спокойного излияния глинистых масс, служат грязевые вулканы, расположенные на Таманском полуострове. Однако так было не всегда. Извержению грязевых вулканов на полуострове подчас сопутствуют сейсмические явления, выброс газа и камней, выделение значительного количества жидкотекучей грязи, которая, как холодная лава, заливают большие площади и выводит из строя сельскохозяйственные угодья, сооружения и пляжи. Грязевой вулканизм и газо-флюидная разгрузка являются сопряженным отражением активного эндогенного геодинамического режима терри-

тории и ее нефтегазоносности [1]. На Таманском полуострове известны и описаны два мощных извержения наземного вулкана Гефест (Гнилая гора) – в 1902 году, когда было разрушено здание грязелечебницы и затем по прошествии 76 лет. Высота выбросов грязевого вулкана гора Гнилая достигала 30 и более метров. Особенно это актуально для тех мест, где наблюдается скопление большого количества людей, принимающих грязевые ванны. При изучении образования наземных и подводных грязевых вулканов большое теоретическое и прикладное значение имеет установление температуры и глубины залегания очагов зарождения водно-газовых флюидов и грязевулканических масс.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В акватории Азовского моря и Керченского пролива (рис.1) имеется ряд подводных вулканов. За деятельностью одного из них - вулкана Голубицкий с 1988 автором настоящей работы проводятся длительные наблюдения [5]. Во время проведения экспедиционных работ вблизи действующего грязевого вулкана Голубицкий и на других участках акватории Азовского моря были отобраны пробы воды и газа из грифонов. В воде были выполнены определения минерализации и химического состава, а также изотопный состав водорода и кислорода её молекул. Определения производились масс-спектрометрическим методом в лаборатории ВСЕГИНГЕО. Для выполнения расчетов температуры и глубины залегания водных флюидов наземных вулканов использовались также результаты определения изотопного состава водорода и кислорода из работ [2–4, 7]. Все определения выражены относительно стандарта SMOW. Для установления пластовой температуры и глубины возможного залегания нефтяных залежей определялся изотопный состав углерода нефтяных компонентов. Анализ изотоп-

ного состава углерода был выполнен в лаборатории изотопного мониторинга качества вод Гидрохимического института (Росгидромет). Результаты выражены относительно стандарта PDB [5]. На схеме (рис.1) представлено местонахождение грязевых вулканов на суше и в акватории моря.

Рис. 1. Распространение грязевого вулканизма в акватории Азовского моря, Керченского пролива и на Керченском и Таманском полуострове (по [1]).

Условные обозначения - 1 - грязевые вулканы: а - действующие, б - потухшие, в - предполагаемые по геофизическим данным; 2 - границы структур в Российском секторе а) первого порядка; б) второго порядка: Восточно-Европейская платформа: 1.1 - Ростовский выступ, 1.2 - Северо-Азовский прогиб; Скифская плита: II. 1 - Азовский вал, II.2 - Тимашевская ступень; Предкавказские альпийские прогибы и поднятия: III. 1 - Западно-Кубанский краевой прогиб, III.2 - Северо-Таманская зона поднятий, III.3 - Керченско-Таманский периклинальный прогиб; Складчато-глыбовое сооружение Большого Кавказа: IV - 1 - покровно-складчатая зона Северо-Западного Кавказа

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Хронология извержения подводных грязевых вулканов Голубицкий и Пересыпский подробно описана в работах [1, 5]. Извержение подводных грязевых вулканов Тамани носит эксплозивный характер. Как правило, оно сопровождалось воспламенением метана, произошедшего в результате образования искр как следствие соударения камней и трения блоков пород. Обследования, выполненные в 2015 г. показали [1], что центром кальдерной структуры служит подводный грязевой вулкан Голу-

бицкий. Радиус кальдеры с видимыми на момент обследования деформациями, смещениями и повреждениями составил 625 метров. Таким образом, диаметр грязевулканической структуры вулкана Голубицкий с активным проявлением опасных геологических процессов составляет не менее 1250 метров. Обычно с активизацией вулкана Голубицкий, просыпается еще один грязевой вулкан, но уже наземный – на горе Миска, где появляется небольшой грязевый грифон. При этом в районе псевдовулканического грязевого озера Голубицкое на берегу моря возникают трещины, а в самом водоеме – помутнение воды и выделение газов. На месте, где происходят выбросы грязевой массы и обломков пород образуются острова, которые со временем под влиянием волновой деятельности размываются. Анализ вулканической активности свидетельствует об отсутствии каких-либо временных закономерностей в их извержении.

По описаниям [1, 2, 5] кроме грязевой массы и обломков пород разного литологического состава обнаружены сопочные брекчии, которые подверглись термальному метаморфизму. Он обусловлен воздействием сравнительно высоких температур горевших газов. Предполагается, что температура, при которой брекчии метаморфизованы, могла достигать 600°C. Допускается также, что в отдельных случаях температура в жерлах вулканов во время взрыва могла быть и выше. Отметим, что литологический состав вулканических выбросов и морфология обломков новообразованных островов были идентичны описанным ранее [5]. Таким образом, приводимые выше визуальные наблюдения и находки обожженных брекчий свидетельствуют о взрывном характере деятельности вулканов. Что же послужило первопричиной их подобного поведения? Наиболее приемлемым является предположение о взрыве метана, который по тектоническим нарушениям в периоды сейсмической активности поступал из пластов-резервуаров в жерло вулкана. Однако весьма важным в практическом и теоретическом отношении является вопрос об источнике метана, температуре формирования грязевых масс и глубине залегания корней грязевых вулканов.

Анализ обширной литературы по химическому составу вулканических газов Таманского полуострова свидетельствует о преимущественно метановом характере грязевых вулканов и наши исследования [2, 5]. Источником метана могли служить как нефтяные и газовые

месторождения (термокаталитический метан), так и относительно молодые скопления газов биогенного происхождения. Расчеты с использованием формулы изотопного смешения [6] показали, что в газовых струях грязевых вулканов содержится от 70 до 100% метана термогенного происхождения. Это подтверждает предположение о том, что глубинные газы термокаталитического происхождения, проходя через колонну осадочных отложений, смешиваются в различной с биогенным метаном. При извержении грязевых вулканов большая часть метана выделяется в атмосферу. Собственно, извержение грязевулканической массы носит эпизодический характер и может привести лишь к спорадическому повышению содержания термогенного метана в районах влияния вулканов. Поэтому с удалением от действующего вулкана в воде и донных отложениях содержание термогенного метана снижается до 0 - 30 %. Более существенное воздействие на экосистему моря оказывает перманентная эмиссия газо-водных флюидов через сальзы, образующиеся на площади, занимаемой подводными грязевыми вулканами, подобно тому, как это имеет место на поверхности земли. Существенным отличием подводной грязевулканической деятельности от таковой на суше является то, что она скрыта под мощным слоем донных отложений и может быть достоверно установлена либо на стадии аккумуляции энергии и подготовки к взрыву, или во время самого извержения.

В работах [5] при натурном обследовании острова не было обнаружено запаха сероводорода. Однако этот факт не может служить критерием отсутствия H_2S в составе вулканических газов, поскольку хорошо известна склонность сероводорода к быстрому образованию сульфидов. Косвенным подтверждением его возможного наличия в составе вулканических газов служат находки мелких кристаллов (размером до 3-5 мм) сфалерита по трещинам обломков пород, и особенно пирита и марказита. Серный колчедан встречен в виде стяжений лепешковидной формы и друз кубических кристаллов. Изотопный состав серы пирита был соответственно $-10,5 \div -7,7\%$, что ниже средних значений $\delta^{34}S$ для сульфидов поверхностного слоя донных отложений Азовского моря и тем более их нижних слоев ($+1,6\%$) [5].

Нами из грифонов грязевулканического острова, образовавшегося на месте взрыва вулкана Голубицкий, в 1988 г. были отобраны пробы

воды и нефтяных компонентов. Минерализация в двух пробах воды изменялась от 14.5 до 17.0 г/л, что существенно превышало соленость в Темрюкском заливе Азовского моря, которая была равна на момент отбора проб 8.9‰. δD и $\delta^{18}O$ воды из грифонов соответственно изменялись в пределах $-30.0 \div -27.0\%$ и $+0.5 \div +0.8\%$. Используя, в качестве геологического термометра регрессионные зависимости между $\delta^{18}O$, с одной стороны и температурой и глубиной залегания терригенных и карбонатных коллекторов с другой, предложенные автором статьи в работе [5], рассчитаем температуру и глубину образования водных флюидов вулкана Голубицкий. Температура и глубина их образования составили для карбонатных и терригенных коллекторов соответственно $79.0 \div 81.7$ °C, $138.0 \div 143.0$ °C и $2.26 \div 2.33$ км, $3.95 \div 4.1$ км. Ранее в работе Федорова Ю.А. [5] на основании изучения изотопного состава углерода нефтяных компонентов из жерла вулкана Голубицкий была высказана гипотеза, что они поступили из относительно неглубоко залегающих (до 1.0 - 2.0 км) скоплений нефти. При геотермическом градиенте для Северного Кавказа, равном в среднем 3.5°C температура залегания нефтяной залежи будет варьироваться в пределах 35-70°C. Таким образом, по нашим расчетам с использованием геологического термометра, установлено, что если нефть и подземные воды залежали совместно в карбонатных коллекторах, то они могли мигрировать к поверхности с относительно небольших глубин. Не исключен другой вариант, когда нефть залежала на глубинах около 1.0-2.0 км, а водно-газовый флюид, поступая из терригенных или карбонатных коллекторов с больших глубин, прорывал вышезалегающие нефтеносные пласты.

В работе [2] с использованием гидрохимических термометров (концентрации пар элементов Na-Li и Mg-Li) были рассчитаны средние значения (68-85°C) температуры образования водных растворов. Отметим, что разброс значений температур формирования грязевулканических вод был большой – от 27 до 423°C. Рассчитанные глубины формирования подземных вод (при градиенте 40°C/1км), по мнению этого исследователя, изменялись от 1.0 до 4.0 км. Как видно, диапазон глубин для вулкана Голубицкий по нашим расчетам укладывался в таковой, установленный В.Ю. Лаврушиным. По мнению этого исследователя, он соответствует диапазону залегания отложений майкопа, представленных глинами и аргиллитами.

Для сопоставления наших результатов с данными определения температуры и глубины, с которой могли поступить подземные воды, выполнены расчеты по изотопному составу кислорода из работ [2-4,7] с использованием формул [6]. Расчеты по этим регрессионным зависимостям основаны на том, что изотопный состав кислорода седиментационных вод находился в изотопном равновесии с изотопным составом кислорода карбонатных и терригенных пород. Из расчетов были удалены сведения по трем пробам (сальзы вулканов Кучугурский, Голубицкий и Синяя балка), изотопный состав которых указывал на их возможное смешение с морскими и пресными водами. Расчеты с использованием уравнений регрессии показали, что если водный флюид находился в изотопном равновесии с карбонатными породами, то температура и глубина их образования, соответственно, изменялись от 81 до 142°C и от 2.3 до 4.5 км, а с терригенными породами – от 146 до 297°C и от 4.4 до 8.5 км. Таким образом, в целом по нашим расчетам с использованием изотопного геологического термометра температура образования грязевулканических вод могла изменяться от 79 до 297°C, а глубина – от 2.3 до 8.5 км. Это не противоречит гипотезе о том, что корни грязевых вулканов в зависимости от особенностей строения осадочного чехла залегают на глубинах от 3-4 до 6-10 км. Изучение геологического поперечного разреза через Западно - Кубанский прогиб показал, что до глубины 5-6 км отложения представлены глинами и аргиллитами, которые с погружением осадочных пород сменяются песчанистыми глинами и песчаниками, т.е. по всему разрезу водовмещающие пласты представлены терригенными породами. Только в верхних слоях до глубины 2.5 км в глинисто - аргиллитовых отложениях встречаются пласты песчаников и известняков. Формирование грязевой массы происходило под влиянием термодинамического воздействия и проникающих по разломам и оперяющим их трещинам водно - газовых флюидов. Грязевулканические каналы дренируют мощную толщу терригенных пород. В свою очередь она служила своеобразным буфером, поглощающим воду и тепловую энергию, а проникновение газосодержащих смесей происходило ступенчато. Это и способствует тому, что изливающаяся на поверхность Земли вулканическая грязевая масса остается относительно холодной и имеет полужидкую консистенцию.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных расчетов с использованием регрессионных уравнений, описывающих зависимости между изотопным составом кислорода подземных вод и литологическим составом коллекторов и изучения геологического строения, высказано предположение, что корни грязевулканических очагов расположены на различных глубинах геологического разреза, представленного преимущественно глинами и аргиллитами. Нельзя исключить вероятность генерации грязевулканических флюидов в песчаных глинах и песчаниках нижнего мела, юры и триаса. В зависимости от литологического состава коллекторов (терригенный или карбонатный), рассчитано, что диапазон температур залегания корней грязевых вулканов мог изменяться от 79 до 297°C, а глубины залегания вмещающих флюиды пород – от 2.3 до 8.5 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 17-17-01229.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2015 году // Краснодар: Министерство природных ресурсов Краснодарского края, 2016. – 483 с.
2. Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления. – М.: ГЕОС, 2012. – 348 с.
3. Селецкий Ю.Б., Поляков В. А. Якубовский А.В., Исаев И.В. Дейтерий и кислород -18 в подземных водах (масс-спектрометрические исследования). – М.: Наука. – 1973. – 144 с.
4. Селецкий Ю.Б. Дейтерий и кислород -18 в проблеме формирования вод грязевых вулканов// Изв. АН СССР, Сер. Геол. – 1991. – № 5. – С. 133-138.
5. Федоров Ю.А. Особенности мониторинга, контроля и прогноз деятельности подводных грязевых вулканов. // В сборнике трудов «Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей. – М.: Триумф. – 2012. – С. 22-32.
6. Федоров Ю.А. Изотопный состав водорода и кислорода подземных вод и литологический состав коллекторов (на примере Северного Кавказа) // Геохимия. – 1989. – № 9. – С. 1359-1363.
7. Nevinskaya I., Nevinskaya V., Panyushkin V. et al. As attempt to determine the tritium²²Na, ³⁶Cl and radon in territory of mud volcano in Taman//Radiation Measurements. – 2001. – Vol. 90. – P. 331-347.

ISOTOPIC COMPOSITION AS AN INDICATOR OF THE SITUATION OF GENERATION OF WATER AND HYDROCARBON FLUIDS OF MUD VOLCANOES OF TAMAN PENINSULA

Fedorov Yu.A.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, fed29@mail.ru

ABSTRACT: The article deals with the geological structure and activity of land and underwater mud volcanoes of the Taman Peninsula and the Temryuk Bay of the Azov sea. The isotopic composition of carbon of oil components and methane, sulfur sulfide of iron, hydrogen and oxygen of water fluids of mud volcanoes is studied. The range of temperature and depth at which the hearth of water and hydrocarbon fluids could lie are established.