

## НАФТИДЫ ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ И КАЛИФОРНИЙСКОГО БАССЕЙНА ГУЙАМАС

Т.Л. Виноградова, С.А. Пуанова  
Институт проблем нефти и газа РАН  
e-mail: punanova@mail.ru

В работе рассмотрены гидротермальные нефти и нефтеподобные вещества бассейна Гуйамас, расположенного в Калифорнийском заливе, а также нефти, выходящие на поверхность в кальдере вулкана Узон в Восточно-Камчатском прогибе. Нефтями гидротермального генезиса считаются скопления углеводородных флюидов, образующихся из органического вещества (ОВ) осадочных пород под воздействием восходящих горячих водных растворов магматического происхождения.

Влияние гидротермальных процессов на ОВ осадочных отложений бассейна Гуйамас исследовалось Б.Р.Т. Симонейтом [1], которым был зафиксирован выход гидротермальных вод с максимальной температурой 315 °С при давлении 200 атм в своде магматического тела, перекрытого осадочными отложениями. Мощность осадочного чехла над телом магматического фундамента в рифтовой зоне более 400 м. Глубина воды 1500–2000 м.

Примером нефтеподобных веществ, полученных из проб донных отложений залива, являются экстракты из внутренней, наиболее термоизмененной части, имеющие типичный для нефти характер распределения углеводородов (УВ). Среди них преобладают *n*-алканы C<sub>12</sub>–C<sub>33</sub>, с показателем нечетности, близким к единице (CPI<sub>12-33</sub> = 1,03) и с максимумом при *n*-C<sub>21</sub>. Отношение содержания пристана (П) к фитану (Ф) составляет 1,06. Смесь циклических УВ и УВ с разветвленной цепью содержит соединения от C<sub>11</sub> до C<sub>31</sub>, также типичных для нефтей. В образце присутствуют УВ бензинового ряда (C<sub>5</sub>–C<sub>10</sub>), содержится элементарная сера, моно- и диолефины от C<sub>12</sub> до C<sub>19</sub> с двойной связью внутри цепи и метильными боковыми группами. Основными молекулярными маркерами в УВ фракции термально измененных образцов являются трициклические терпаны, тритерпеноиды и стераны с длинными цепочками и их стереоизомеры (диастераны). Трициклические терпаны в диапазоне C<sub>20</sub>–C<sub>29</sub> характеризуются распределением, аналогичным их распределению в зрелых нефтях. В неизмененных поверхностных осадках они отсутствуют. Биомаркеры стероидной структуры включают 5 $\alpha$ (H), 14 $\alpha$ (H), 17 $\alpha$ (H) – стераны 20R и меньшее количество 5 $\beta$ (H), 14

$\alpha$ (H),  $17\alpha$ (H) стеранов 20R и диастеранов  $13\beta$ (H),  $17\alpha$ (H) стеранов 20R или S ряды. Стераны установлены в диапазоне  $C_{26}$ – $C_{30}$ . Преобладает холестерин ( $C_{27}$ ). Тритерпеноиды представлены в основном зрелыми формами соединений ряда  $17\alpha$ (H),  $21\beta$ (H) гопана в диапазоне  $C_{27}$ – $C_{35}$  (исключая  $C_{28}$ ). Гомологи  $C_{31}$ – $C_{35}$  присутствуют в виде пар диастеранов 22-S и R в соотношении 1:1. В этих же образцах наблюдается небольшое количество моретанов  $17\beta$ (H),  $21\alpha$ (H) ( $C_{29}$ ,  $C_{30}$  и  $C_{31}$ ) и биогопанов  $17\beta$ (H),  $21\beta$ (H) ( $C_{27}$ ,  $C_{30}$ ), *изо*-гоп-13(18)-ен и  $17\beta$ (H) - морет 22( $_{29}$ )-ен. В то же время в ОВ неизмененных осадков доминируют биомаркеры с конфигурацией  $17\beta$ (H),  $21\beta$ (H) биогопаны и различные тритерпаны. В термоизмененных образцах установлены полициклические ароматические УВ (ПАУ) – пирен, бензпирен, перилен, бензперилен, коронен. Данная группа соединений не характерна для нефтей, но присутствует в продуктах высокотемпературного пиролиза. Приведенная характеристика УВ состава термоизмененного нефтеподобного вещества отражает стабильную зрелую форму этих соединений и является результатом гидротермальной активности.

Кроме высокопреобразованного нефтеподобного вещества, исследовался компонентный состав нефтей бассейна Гуйамас. Нефти характеризуются высоким содержанием полярных компонентов и асфальтенов и являются сравнительно незрелыми [1].

Нефтяные выходы из кальдеры вулкана Узон изучались многими исследователями (Н.С. Бескровный и др., 1971, 1974; Е.И. Кудрявцева и др., 1986; М.Б. Темяно и др., 1990; А.Э. Конторович и др., 2011; Э. Абля и др., 2011; Н.Л. Добрецов и др., 2015). Кальдера вулкана Узон представляет собой огромное геотермическое поле, находящееся в восточной части Камчатки (Восточно-Камчатский прогиб) (рис. 1). Исследователи пришли к выводу, что район является проявлением современного вулканизма, минерало- и рудообразования, а также уникальным местом генерации (температура 95 °С) и аккумуляции самых молодых нефтей на планете ( $N_2$ -Q) [2, 3]. Фазовое состояние нефтей из этих выходов различно. Плотность нефтей варьирует от 0,878 до 0,915 г/см<sup>3</sup>. Содержание серы достигает 2,01%, парафина 2,0%, гетероциклических соединений от 7 до 10%, а количество асфальтенов незначительное – 0,3%. Концентрация насыщенных УВ в два раза превышает содержание ароматических. Выходы нефти на 90–93% представлены углеводородами.

Распределение УВ в нефтях характеризуется значительным разнообразием [3]. Для некоторых нефтей отмечается преобладание нормальных алканов при отношении П/Ф, близким к единице, что свидетельствует о морском типе исходной органики. В других нефтях преобладают изоалканы с отношением П/Ф менее 0,3–0,5. Встречаются нефти, содержащие необычные УВ, такие как 12- и 13-метилалканы. Среди циклановых УВ отмечается аномально высокое содержание тетрацикланов (40,4%), и содержание – трицикланов (22,1%). Повышена величина отношения три+тетра/моноцикланы, равная 5,43, значение нафтенового индекса понижено до 11,9. Среди стеранов наблюдается значительное содержание стерана C<sub>29</sub>, меньшее – C<sub>28</sub> и очень низкое – C<sub>27</sub>. Нефти имеют относительно низкие концентрации C<sub>26</sub>-три и C<sub>27</sub>-моноароматических УВ и избыток дибензотиофена. Среди аренов в Узонских нефтях доминирует группа нафталинов (46,5%), значительно содержание фенантронов (33,0%) [4].

Основываясь на современных исследованиях состава и соотношения биомаркеров, можно предположить, что нефти Узона образовались за счет переработки нескольких источников ОВ, включая липиды высшей наземной растительности, простейшие водоросли, возможна примесь бактериогенной органики [5]. Низкие значения отношения Ts (18 $\alpha$ (H) 22,29,30-триснорнеогопан)/Tm (17 $\alpha$ (H) 22,29,30-трисноргопан) (0,08) и изомерных соотношений стеранов C<sub>29</sub> ( $\alpha\alpha\alpha$  20S/ ( $\alpha\alpha\alpha$  20S +  $\alpha\alpha\alpha$  20R) – 0,15, 0,20;  $\alpha\beta\beta$ 20R / ( $\alpha\beta\beta$ 20R +  $\alpha\alpha\alpha$ 20R) – 0,24, 0,20), а также величины биомаркерных параметров 4МДБТ/1МДБТ=0,3-1,2; МРІ-1=0,6-1,1 свидетельствуют о низкокзрелой или незрелой степени генерации нефтей Узона [2, 4].



Рис. 1. Пульсирующий источник в кальдере вулкана Узон (Фото В.А. Злотникова)

Отметим, что так называемые гидротермальные нефти Гуаймас в бассейне Калифорнийского залива и нефти в кальдере вулкана Узон Восточно-Камчатского прогиба, связанные с образованием УВ из современного ОВ при внедрении в отложения и разгрузке в них высокотемпературных гидротерм, имеют черты сходства и различия. Нефти сходны по уровню гетероорганических соединений и по содержанию элементарной серы. Их высокомолекулярные полициклические ароматические УВ включают много нафтеноароматических структур. В нефтях этих регионов присутствуют трициклические и тетрациклические терпаны. В то же время существуют значительные различия. Нефть Гуаймас содержит бензиновые фракции  $C_5-C_{10}$ , олефины состава  $C_{12}-C_{19}$ , тетрапирроловые структуры и асфальтены. Эти соединения отсутствуют в нефтях Узона. Флюиды в обоих бассейнах различаются по составу алканов и их распределению. В бассейне Гуаймас отношения нечетных алканов к четным и отношение пристана к фитану близки к 1. Максимальные пики при  $n-C_{15}$  и  $n-C_{21}$  типичны для морских нефтей. В Узонской нефти четные  $n$ -алканы доминируют над нечетными, а фитан – над пристаном. Максимум  $n$ -алканов приходится на  $C_{18}$ . Несмотря на отмеченные различия, общий анализ природы этих гидротермальных нефтей говорит о их незрелой степени [6, 7].

Важную информацию в плане геохимических интерпретаций дают данные по содержанию микроэлементов (МЭ) в нефтях. Результаты определения МЭ в нефтях методом нейтронно-активационного анализа из площадей и источников Восточно-Камчатского прогиба были опубликованы Е.И. Кудрявцевой и др. [8] и С.П. Якуцени [9]. Пробы нефти были отобраны из разведочных скважин, пробуренных в нефтегазоносных бассейнах, сложенных терригенными породами палеоген-неогенового возраста и из шурфа и закопушек на фумарольном поле в северной части кальдеры вулкана Узон, расположенного в центральной части Восточно-Камчатского вулканического пояса (рис. 2).

Нефть кальдеры вулкана Узон отличается от нефтей близлежащих месторождений (Богачеевское, Двухлагерное, Лиманское, Изменное) более высокой плотностью ( $0,915 \text{ г/см}^3$ ), высоким содержанием серы (2,01%), меньшим выходом бензиновых фракций.

Распределение МЭ в нефтях кальдеры вулкана Узон и нафтидах Камчатки показано на рис. 3 (аналитические данные взяты из работ [8, 9]). Нефти характеризуются низкими содержаниями всех идентифицированных элементов. Содержания Pd, Ag и Au,

не представленные на рис. 3, составляют менее 0,02 г/т. Концентрации других элементов близки в пробах из нефтяных месторождений и кальдеры вулкана. Ход линий концентраций элементов практически одинаков. Можно констатировать, что в пробе нефти кальдеры незначительно выше содержания V, Mn, Pb, Sn, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а в нефти месторождения Богачеевское выше содержания Cu, Mn, Zn, Sn, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. МЭ состав нефтей кальдеры Узон свидетельствует об их никелевой металлогении (Ni>V). Содержание V и Ni в нефти кальдеры понижено и составляет соответственно 0,062 и 0,24 г/т (V/Ni=0,26), тогда как содержание Cu, Zn, Sn, Pb, Mn существенно выше (соответственно, г/т, 5,28; 3,61; 1,11; 0,65; 0,46). Известно, что воздействие горячих вод, паров и газов привело в этом регионе к интенсивным гидротермальным изменениям пород и скоплению



Рис. 2. Схема расположения отбора проб нефти на Камчатке [8, 9]

1. Лиманская, скв. 1, 2085–2100 м; 2. р. Богачеевка, естественный выход нефти; 3. Богачеевская, скв. 37, 490 м; 4. Двухлагерная, скв. 50, 453,6 м; 5. кальдера вулкана Узон, шурф, 1,5 м

сульфидных руд. По мнению С.П. Якуцени [9], Двухлагерная и Богачеевская площади находятся в одном тектоническом регионе, но первая расположена ближе к Узону и, по всей видимости, близко подходит к тектонически нарушенной зоне. Можно предположить, что обе эти нефти приурочены к одному нефтеносному горизонту, но нефть из кальдеры Узон была значительно подвержена температурным изменениям.

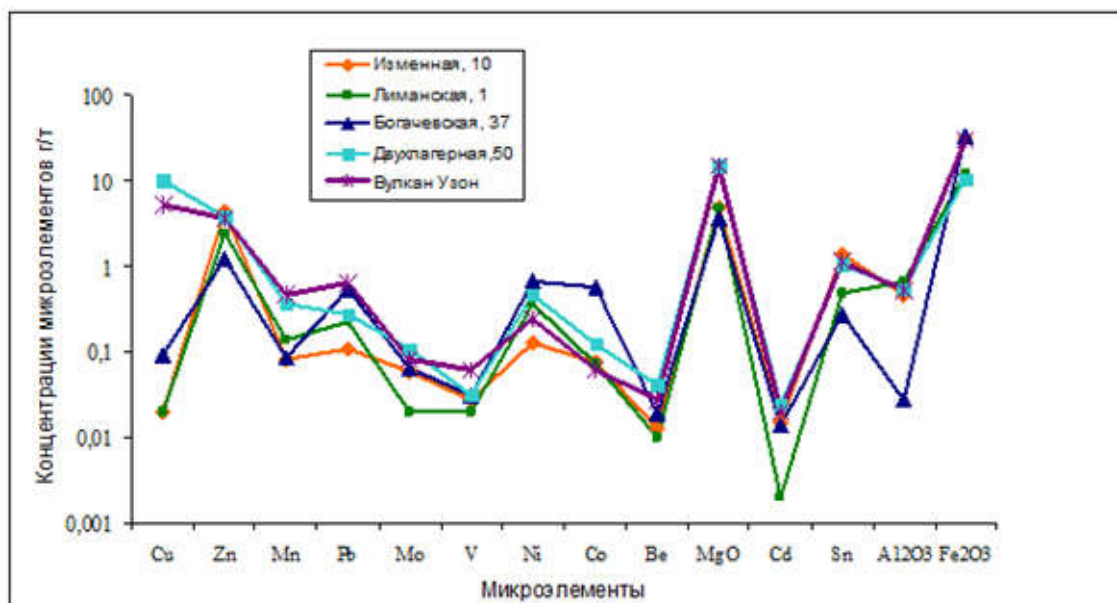


Рис. 3. Содержание микроэлементов в нефтях Камчатки (по аналитическим данным [8, 9])

Таким образом, физико-химические свойства, УВ состав и содержание МЭ в нефтях Калифорнийского бассейна Гуйамас и кальдеры вулкана Узон (Камчатка), происхождение которых связано с гидротермальными процессами, свидетельствуют о том, что эти нефти принадлежат к классу раннекатагенетических флюидов. Они, как и все флюиды, генерированные ОВ на ранних стадиях катагенеза, характеризуются высоким удельным весом, повышенным содержанием гетероатомных соединений и серы, относятся по микроэлементной характеристике к нефтям никелевой металлогении [6, 7].

Большой массив данных по определению МЭ состава нефтей этих регионов Камчатки методом ICP-MS приводится в работе Н.Л. Добрецова и др. [5]. Исследователи также отмечают низкое содержание большого ряда изученных элементов в нефтях кальдеры вулкана Узон, притом что содержания W и Hg на порядок, а содержание As – на 4 порядка выше содержания этих элементов в земной коре, а также преобладание никеля над ванадием. Однако комплекс геологических, гидрогеохимических, микробиологических

и физико-химических исследований нефтяной площадки кальдеры вулкана Узон, включающий и определение МЭ в узонской нефти, нефтяных растворах и гидротермах, свидетельствует, как считают авторы [5], о сложности и возможной многофазности процессов нефтеобразования в данном регионе, что связано с участием как эндогенных, так и экзогенных факторов.

*Статья написана в рамках выполнения Государственного задания в сфере научной деятельности на 2017 г.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Симонейт Б.Р.Т.* Созревание органического вещества и образование нефти: гидротермальный аспект // *Геохимия*. 1986. № 2. С. 236–254.
2. *Конторович А.Э., Бортникова С.Б., Карпов Г.А., Каширцев В.А., Костырева Е.А., Фомин А.Н.* Кальдера вулкана Узон (Камчатка) – уникальная природная лаборатория современного нефтидогенеза // *Геология и геофизика*. 2011. Т. 52, № 8. С. 986–990.
3. *Ablyu E. Slivko I.* Geochemistry of «just generated» oils from Uzon volcano caldera (Kamchatka) in comparison with oldest pre-Cambrian oils // *XXV International Meeting on Organic Geochemistry, Switzerland [S. 1.]*, 2011. P. 221.
4. *Темялко М.Б., Кудрявцева Е.И., Соловьева И.Л., Клиндуков В.П., Бескровный Н.С.* Состав ароматических углеводородов восточно-камчатских нефтей // *Геохимия*. 1990. № 6. С. 790–796.
5. *Добрецов Н.Л., Лазарева Е.В., Жмодик С.М* и др. Геологические, гидрогеохимические и микробиологические особенности нефтяной площадки кальдеры Узон (Камчатка) // *Геология и геофизика*. 2015. Т. 56, № 1–2. С. 56–88.
6. *Виноградова Т.Л., Пунанова С.А.* Геохимические закономерности состава углеводородных систем ранней генерации // *Геология нефти и газа*. 2010. № 3. С. 61–72.
7. *Пунанова С.А., Виноградова Т.Л.* Геохимические особенности нефтей гидротермального происхождения // *Геология, геофизика и разраб. нефт. и газовых месторождений*. 2017. № 6. С. 33–36.
8. *Кудрявцева Е.И., Якуцени С.П., Смуров Л.Л.* Металлы в нефтях Камчатки и Чукотки // *ДАН*. 1993. Т. 331, № 4. С. 474–479.
9. *Якуцени С.П.* Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков. СПб.: Недра. 2005. 372 с.