

Об объемах глубинного углерода — первичного донора углеводородов на Земле

А.И. Тимурзиев, 2021

АО «Центральная геофизическая экспедиция», Москва, Россия

Поступила 2 марта 2020 г.

Рассмотрены существующие представления о распространенности углерода на Земле. На примере данных о содержании углерода в верхней мантии Земли, полученных на западе США методом глубинной сейсмической томографии, выполнена оценка ресурсного потенциала недр в рамках теории глубинного, абиогенно-мантийного происхождения нефти и газа. Согласно приведенной оценке, частично расплавленная зона (резервуар) содержит не менее $1,2 \cdot 10^{17}$ кг летучих (Q , кг), таких как водород или углерод. Расчет по углероду (С) с учетом исходных данных показал, что массовое содержание (концентрация) углерода на единицу объема земной коры и верхней мантии, для которого выполнены оценки содержания углерода, составит $1\ 333,3$ кг/м³ или $1,3$ тн/м³ ($1,3$ г/см³).

При средней величине расплава пород верхней мантии $0,5 \pm 0,2$ % (на объем), объем области плавления земной коры (глубинного углеродного резервуара), содержащей оцененный объем летучих, составит $4,5 \cdot 10^{11}$ м³. В таком представлении массовое содержание (концентрация) углерода на единицу объема частично расплавленной зоны глубинного углеродного резервуара составит $2,67 \cdot 10^5$ кг/м³, или $266,67$ тн/м³ ($266,67$ г/см³). Это очень высокие значения, если не фантастически высокие, характеризующие не просто высокое содержание углерода и водорода как основных доноров углеводородов, а концентрацию этих элементов в пределах определенных зон верхней мантии Земли (астеносферный слой) на основании состава, концентрации, фазового состояния, *PT*-условий, относимую нами к очагам глубинного нефтегазообразования.

Приведенные данные позволяют утверждать, что проблема доноров углеводородов глубинного, абиогенно-мантийного генезиса в нашем представлении снята, и с высокой долей вероятности определен источник первичных доноров углеводородов в разрезе мантии и железоуглеродного ядра Земли, обладающий неисчерпаемыми ресурсами первичного углерода, фазовый состав которого, в зависимости от *PT*-условий земных оболочек, может быть кристаллическим (алмазная фаза, соединения с железом и никелем $(Fe_n + Ni_n) + C_n$, например, карбиды железа — FeC, Fe₂C, Fe₃C (цементит) и др.), жидким (например, расплав с примесью серы или другими летучими H-N-F-O-Cl) и газообразным (CO₂ газообразный только в мантии, выше слоя D"). При этом синтез углеводородов в промышленных масштабах осуществляется в процессе гидрогенезации глубинного углерода на восходящих водородных струях в пределах астеносферных линз, чему благоприятствуют реакционный объем катализаторов и необходимые *PT*-условия полимеризации углеводородных радикалов.

Ключевые слова: углерод, водород, первичные доноры углеводородов, углеродная дегазация, углеродно-водородный плюм, структурно-минералогические парагенезы, нефтегазоносность осадочных бассейнов.

Введение. Углерод (С) является одним из самых распространенных в Солнечной системе (СС) и во Вселенной элементом. Атомы углерода многочисленны и в галак-

тических, и в солнечных космических лучах. Но углерода мало даже в атмосфере самой большой планеты СС — Юпитера (90 % водорода, 10 % гелия), следовательно,

углерод в значительных количествах может находиться во внутренних областях планет. Это решает проблему местонахождения углерода. Анализы железозамененных метеоритов показывают, что в их металлической составляющей содержится до 50 % (по объему) углеродных включений [Анисичкин, 2000].

Эти и другие материалы свидетельствуют о положении углерода в ряду первых по распространенности химических элементов во Вселенной, в СС и, в частности, на Земле. Однако такие представления далеко не очевидны и не общеприняты, в особенности для планеты Земля, единственной известной науке планеты, где развита жизнь на углеродной основе. В аспекте генезиса углеводородов (УВ), основу которых, наряду с водородом, составляет углерод, вопрос распространенности последнего является не только определяющим достоверность альтернативных (биогенной и абиогенной) теорий происхождения нефти и газа, но и фундаментального вопроса [Опарин, 1941]: «жизнь на основе углеводородов» или «углеводороды на основе жизни».

Согласно представлениям В.И. Вернадского, опубликованным им в статье «Нефть как природное тело в науке XIX столетия» еще в 1901 г., «...нефть принадлежит к обширной и важной группе природных соединений углерода, к так называемым углеродным материалам» [Вернадский, 1901]. Там же В.И. Вернадский писал: «Надо надеяться, что XX век раздвинет химию углерода и в эту почти нетронутую область и другим путем позволит уяснить историю углерода в земной коре, которая до сих пор представляет много загадочного» [Вернадский, 1901]. В работе [Вернадский, 1967] отмечено, что «первичным ювенильным минералом можно сейчас считать чистый углерод (графит), дающий СО и СО₂, в качестве вторичных ювенильных же продуктов».

За прошедший век, несмотря на огромные достижения органической и неорганической химии, загадка с историей углерода в земной коре до конца не раскрыта. Более того, открываются все более интригующие

данные о его содержании в земной коре и мантии и о его роли в развитии Земли и ее оболочек, включая увосферу Б.А. Соколова.

В последние годы интерес к изучению углерода заметно возрос в связи с изменением климата Земли, связываемым мировой научной общественностью с парниковым эффектом [Сывороткин, 2002] от возрастающих на планете объемов выброса углекислого газа.

Другой причиной возросшего интереса к изучению углерода стало развитие учения В.И. Вернадского, впервые показавшего, что соединения углерода, принимающие участие в строении каустобиолитов, в том числе нефтей, представляют собой неотъемлемую часть геохимической системы круговорота (рециклинга) углерода в земной коре [Вернадский, 1983].

Проблема рециклинга углерода изучается сегодня в рамках международного проекта Deep Carbon Observatory (DCO) и активно обсуждается на страницах одноименного сайта [Deer ..., 2020]. Исследования DCO показывают, что две трети или более углерода Земли могут быть поглощены в ядре в виде карбида железа. Этот «скрытый углерод» приближает общее содержание углерода Земли к тому, что наблюдается на Солнце, и помогает нам понять происхождение углерода Земли из небесного материала. Ценна не только информация по объему углерода в ядре Земли, но по его составу (карбид железа), что придает «карбидной теории» Д.И. Менделеева новую доказательную основу.

Еще А.И. Опарин в книге «Возникновение жизни на земле» [Опарин, 1941] отмечал, что «благодаря многочисленным исследованиям целого ряда астрофизиков в настоящее время установлено присутствие интересующего нас элемента — углерода в атмосферах всех известных нам звезд». Без сомнения, углерод, наравне с водородом, является первичным элементом строения Вселенной и составляет основу строения всех ее галактик и звездных систем, включая планеты, в том числе планету Земля.

Интерес и к углероду, и к водороду был всегда в центре внимания ученых, занимающихся со времен Д.И. Менделеева проблемами глубинного, абиогенно-мантийного происхождения нефти и газа. Это не удивительно, потому что углерод и водород являются первичными донорами углеводородов, синтез которых осуществляется по теории неорганического происхождения нефти и газа в верхней мантии Земли.

Существующие представления о распространённости углерода на Земле. Общеприняты представления о том, что содержание углерода на Земле сравнительно невелико, хотя С — четвертый по распространённости элемент таблицы Д.И. Менделеева в космосе после водорода (H), гелия (He) и кислорода (O). Несмотря на это, углерод имеет огромное значение для жизнедеятельности растительных и животных организмов и человека, все живые организмы состоят главным образом из соединений углерода.

Формы распространения углерода в природе многообразны. Наибольшее количество (приблизительно 99 %) содержится в минералах, в основном в виде карбонатов кальция (CaCO_3) и магния (MgCO_3). Они образуют мощные толщи горных пород (известняки, мраморы, доломиты и др.). Углерод входит в состав ископаемых углей, нефти, природного газа, торфа, древесины. В атмосфере углерод содержится в виде двуокси углерода (0,03—0,04 об. %); много двуокси углерода растворено в воде океанов, морей, рек, источников. В свободном состоянии углерод встречается в природе в виде алмаза и графита.

По богатству и многообразию соединений углерод занимает первое место среди других элементов периодической системы. Он образует огромное количество соединений с водородом [Курс ..., 1975].

По данным [Карапетьянц, Дракин, 1987], содержание углерода в земной коре составляет 0,1 %. Большая часть его входит в состав карбонатов, нефти, каменного и бурого угля, сланцев, природного газа. Наибольшие запасы природного газа, по-

видимому, находятся на дне океанов и в зоне вечной мерзлоты в виде так называемых газогидратов.

По данным [Хомченко, 1981], массовая доля углерода в земной коре также составляет 0,1 %. Он встречается в природе в свободном состоянии (алмаз, графит). В виде простого вещества и соединений углерод входит в состав многих природных веществ: бурого и каменного угля, сланцев, торфа, нефти, горных пород и минералов, например известняка CaCO_3 , сидерита FeCO_3 . Углерод содержится в атмосферном воздухе в виде оксида CO_2 (массовая доля 0,012 %).

Согласно [Виноградов, 1962], весовой кларк С в составе химических элементов земной коры составляет 0,36 % (масс. %), а по А.А. Ярошевскому (1988) эта величина составляет 0,27 %. В качестве некоторого наблюдения без обсуждения природы явления можно констатировать, что по данным [Виноградов, 1962] весовой кларк углерода в составе каменных метеоритов (хондриты) составляет $4 \cdot 10^{-2}$ % и в 4 раза превышает таковой для ультраосновных (дуниты и др.) и основных (габбро и др.) пород — $1 \cdot 10^{-2}$ %; для средних (диориты, андезиты) и кислых (граниты, гранодиориты) пород весовой кларк углерода составляет $2 \cdot 10^{-2}$ и $3 \cdot 10^{-2}$ % соответственно; для осадочных пород (глины и сланцы) эта величина достигает 1,0 %.

Если высокое содержание углерода в осадочных породах, особенно тонкодисперсных, можно объяснить его поглощением (аккумуляцией) растениями (более 200 млрд тонн CO_2 в год), животными и микроорганизмами и последующим захоронением и переотложением в почве (гумус) и торфе, равно как и в углеродсодержащих минералах (известняки, доломиты, и др.), то снижение кларка углерода в земной коре в зависимости от глубинности выплавления магм объяснить трудно, если только не связывать это с естественной дифференциацией земной коры в процессе глубинной дегазации и выноса на поверхность в составе летучих магматических расплавов (CO , CO_2). Это

одновременно должно указывать на то, что уже на глубинах верхней мантии Земли, не затронутых дренированием магматическими очагами, концентрация и количество С должны заметно увеличиваться.

Совершенно очевидно, что авторы цитируемых источников конца прошлого века исходили из теоретической и эмпирической базы своего времени и их оценки требуют в ряде случаев пересмотра с учетом современных данных по содержанию углерода в различных оболочках земной коры и мантии Земли, полученным благодаря новым данным глубокого бурения, внедрению современных методов и технологий полевых наблюдений и, наконец, развития инструментария лабораторных исследований.

Согласно [Летников, 2001], «анализ диаграммы состояния углерода приводит нас к важному выводу о возможности наличия в жидком ядре, особенно в его глубинной части, жидкого углерода. Став на точку зрения о наличии в жидком ядре наряду с H_2 и другими компонентами восстановленного флюида (CH_4 , CO) значительных содержаний серы и углерода (по некоторым оценкам, внешнее ядро состоит из трех главных элементов: Fe — 86 %, S — 12 % и Ni — 2 %), мы получим далеко идущие геохимические следствия, ибо проблема источника S и C в глубинных флюидах и породах до сих пор остается нерешенной. Если внутреннее ядро Земли состоит из Fe или FeNi сплавов, то их способность при высоких температурах и давлениях растворять газы и, в первую очередь, водород является универсальной. В равной мере это относится и к расплавам этих металлов».

Вопросы, касающиеся источников серы (S) и роли водорода в строении ядра Земли, адресуем М.А. Лурье, автору книги «Нефть. К дискуссии о происхождении. Серосодержание и металлоносность как генетические характеристики» [Лурье, Шмидт, 2013] и В.Н. Ларину, автору «Гипотезы изначально гидридной Земли» [Ларин, 1975]. Сами же продолжим разбираться с углеродом.

Помимо доказательства абиогенно-ман-

тийного генезиса УВ, факты глобальной газогидратности 95 % дна Мирового океана и происходящее на наших глазах формирование в современном слое нелигифицированных донных осадков плейстоценового возраста гигантских ресурсов метаногидратов служат источником информации для оценки объемов углерода, диффундируемого с поверхности базальтового слоя верхней мантии со дна Мирового океана. По данным Геологической службы США [Тимурзиев, 2013] их суммарные геологические запасы содержат $1133 \cdot 10^{16}$ (113 сотен квадриллионов) m^3 метана (или $11,33 \cdot 10^{18}$ — 11,33 квинтиллионов), что почти в 55 000 раз превосходят мировые запасы природного газа в 2011 г. (208,4 трлн m^3). Для сравнения, если при текущем потреблении газа его должно хватить на 63 года, то ресурсов метаногидратов может хватить почти на 3,5 млн лет.

Как известно, массовая доля углерода (C) в CH_4 составляет 75 %; H в CH_4 — 25 %, а плейстоценовые осадки накопились примерно за 10 тыс. лет четвертичного периода. Исходя из этих цифр, за 10 тыс. лет со дна Мирового океана выделилось примерно $8,5 \cdot 10^{18}$ или 8,5 квинтиллионов m^3 ($6,1 \cdot 10^{18}$ кг) углерода, за 10 млн лет (позднемиоцен — четвертичное время) эта цифра составит $8,5 \cdot 10^{21}$ m^3 (8,5 секстиллионов) или $6,1 \cdot 10^{21}$ кг углерода. При объеме (V) $10,8321 \cdot 10^{11}$ km^3 ($10,8321 \cdot 10^{20}$ m^3) и средней плотности (ρ) $5,5153$ г/ cm^3 масса (m) Земли составляет $5,9726 \cdot 10^{24}$ кг, а количество углерода, выделившегося только за последние 10 млн лет на поверхности дна Мирового океана, составит 0,1 % массы Земли. Экстраполируя процесс углеродной дегазации, запечатленной в масштабах накопления газогидратов, на весь фанерозойский период (около 540 млн лет), получим цифру около $330 \cdot 10^{21}$ кг (330 секстиллионов) углерода. При массе Земли $5,9726 \cdot 10^{24}$ кг это 5,52 %, т. е. почти в 50 раз больше общепринятых оценок. Если предположить близкий объем дегазации Земли на континентальной коре, то следует добавить еще 29,1 % к этой величине, а учитывая, что масштабы дегазации на континентах

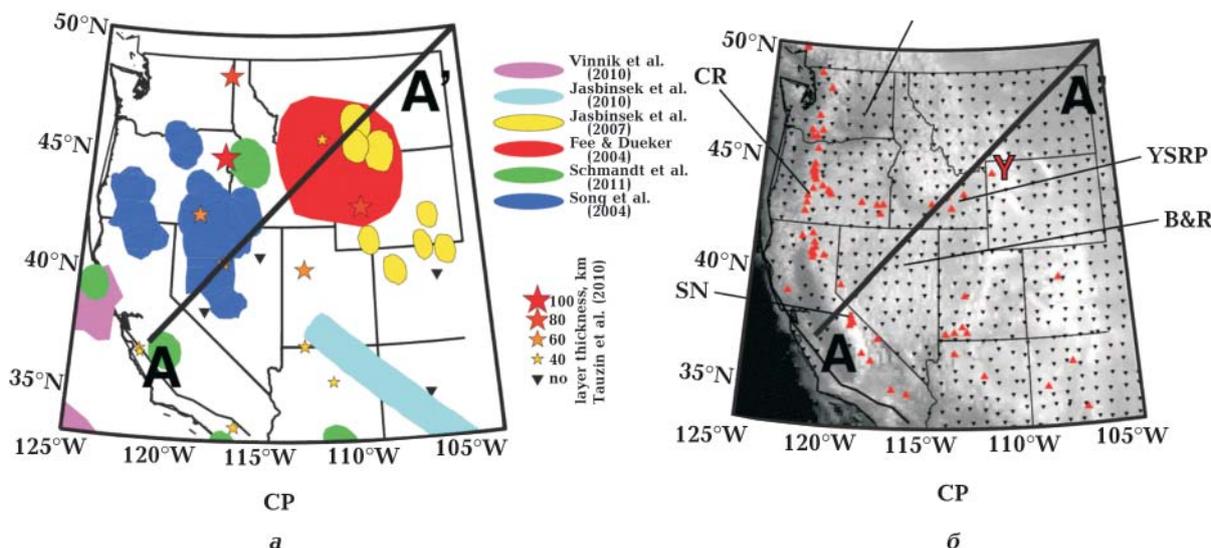


Рис. 1. Низкоскоростные наблюдения слоя из плотных сейсмических массивов. Карта (а) обобщает предыдущие LVLs наблюдения по всей западной части США. Эти наблюдения были получены в результате нескольких независимых исследований с использованием малоапертурных сейсмических сетей. Сейсмическая сеть (б) с большей апертурой, используемая в этом исследовании, представляет собой переносной массив (черные треугольники), охватывающий западную половину США со средним расстоянием между станциями 70 км. Региональная сейсмическая сеть Caltech не была обработана, объясняя разрыв в охвате на крайнем юге Калифорнии. А—А' — сейсмический профиль, рассмотренный в этом исследовании. Структуры западной части США: CR — хребты Каскадия, YSRP — Йеллоустонская равнина Змеиной реки, Y — Йеллоустонская кальдера, CP — плато Колумбия, SN — Сьерра-Невада и провинция бассейна и хребта (B&R). Красные треугольники — основные четвертичные активные вулканы, связанные либо с дугой из-за нынешней субдукции плиты Хуан-де-Фука ниже хребтов Каскадии, либо возможно, с горячей точкой в равнине Змеиной реки и в районах Йеллоустона.

Fig. 1. Low-velocity layer observations from dense seismic arrays. A map (a) summarizing previous observations of the LVLs across Western US. These observations have been obtained from several independent studies using small-aperture seismic networks. The larger-aperture seismic network (b) used in this study is the Transportable Array (black triangles), covering the western half of the US with an average station spacing of 70 km. The Caltech Regional Seismic Network has not been processed, explaining a gap in coverage in the extreme South of California. The seismic profile discussed in this study is labeled A-A' and marked with a black line. Important physiographic features of the western US are labeled, such as the Cascadia ranges (CR), the Yellowstone Snake River plain (YSRP), the Yellowstone caldera (Y), the Columbia plateau (CP), the Sierra Nevada (SN), and the Basin and Range province (B&R). Major Quaternary active volcanoes (red triangles) are either arc-related, due to the present subduction of the Juan de Fuca plate below the Cascadia ranges, or possibly hotspot-related in the Snake River Plain and Yellowstone regions.

существенно выше океанического дна, можно смело округлить эту величину до 50 %, а суммарное содержание углерода на Земле оценить в 10 % от массы Земли, считая только дегазированную, связанную и восстановленную его часть. Объем связанного углерода (в виде карбида металлов и жидкого углерода) в мантии и ядре Земли не поддается определению.

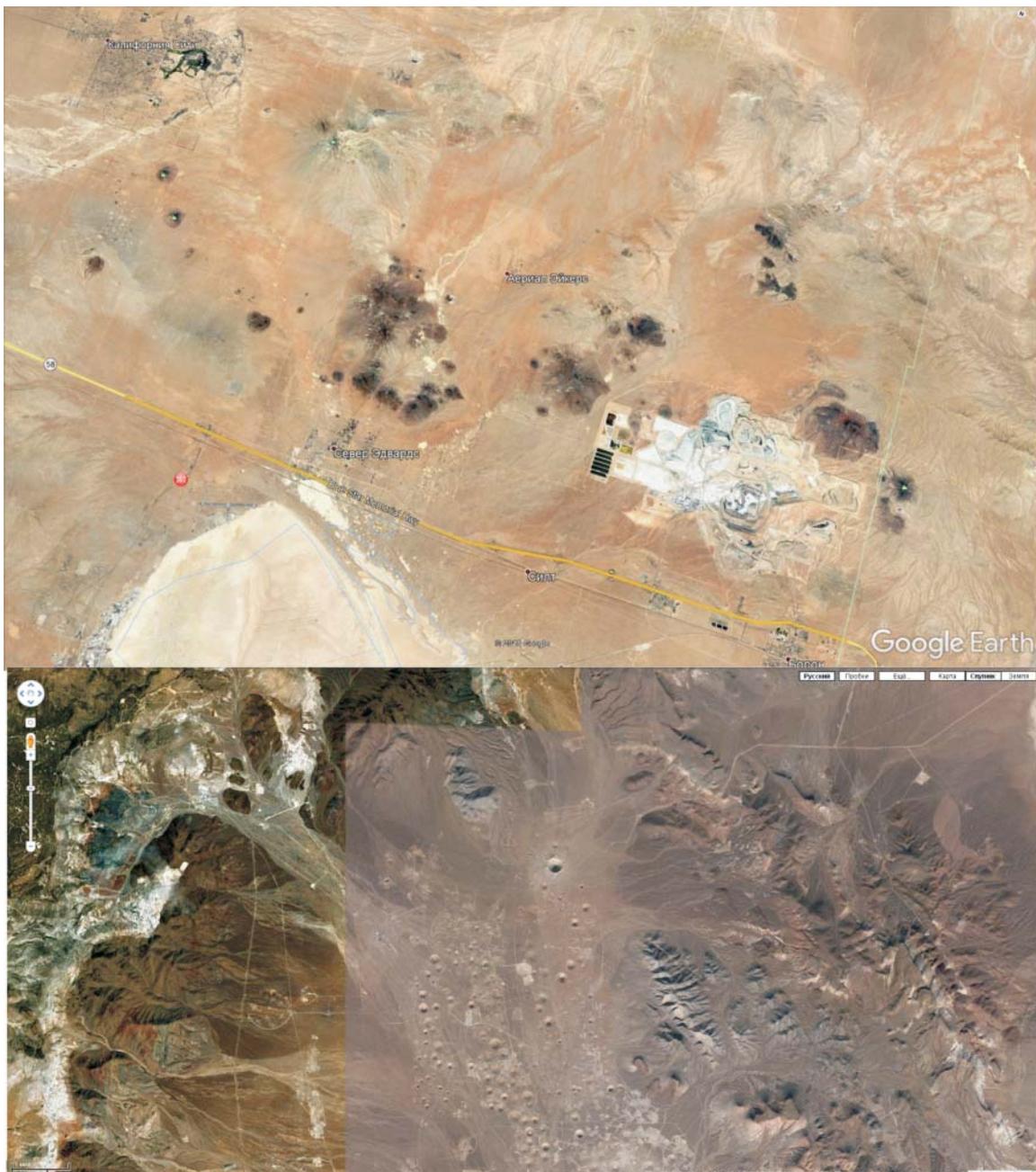
Понятно, что это приблизительные расчеты, они могут быть как существенно занижены (не вся поверхность дна Мирового океана изучена на предмет содержания

метаногазратов, существенная доля метана улетучивается в атмосферу, не образуя метаногазраты), так и завышены (мы не знаем, сохранялся ли стабильным объем поступления метаногазратов на дно Мирового океана на протяжении всего позднемiocен—четвертичного времени). Во всяком случае, полученные цифры позволяют представить колоссальные масштабы разгрузки диффундирующего углерода, а масштабы локализованной очаговой разгрузки углерода в пределах активных вулканических поясов, в том числе грязе-

вулканических областей, в пределах складчатых, глыбово-складчатых зон и других проницаемых структур континентальной части Земли не поддаются воображению.

Как видим, масштабы углеродной дегазации на примере глобальной газогидратности дна Мирового океана и экстраполяции процессов углеводородной ветви холодной дегазации Земли на весь фанерозойский период заставляют усомниться в общепринятых оценках содержания углерода в земной коре. Приведенные

расчеты не могут восприниматься буквально, а лишь отражают реальные масштабы углеродной дегазации Земли, в рамках которой, с учетом рециклинга углерода, его частичного поглощения, захоронения и переотложения в породах земной коры, углеводородная ветвь холодной дегазации занимает особое положение. В этой связи следует отметить, что на долю техногенного углерода в составе углекислого газа от сжигания топлива приходится всего чуть более $(6-7) \cdot 10^{12}$ кг/год, а учитывая время



промышленного использования природного топлива в качестве источника энергии (около 100 лет), эта цифра не превысит $(6-7) \cdot 10^{14}$ кг. Цифра мизерная для восприятия ее в качестве серьезного аргумента в процессах нефтегазообразования различных гипотез полигенеза.

Для понимания масштабов углеродной дегазации на континентах сошлемся на статью [Hier-Majumdera, Tauzinb, 2017], в которой приводятся крайне важные данные о содержании углерода в верхней ман-

тии Земли, полученные на западе США (сегмент Фараллонской плиты) методом глубинной сейсмической томографии и позволяющие оценить ресурсный потенциал недр в рамках теории глубинного, абиогенно-мантийного генезиса нефти и газа (рис. 1).

Подобные количественные оценки до сих пор отсутствовали, что не позволяло, в первую очередь, в силу неопределенности относительно величины, концентрации и распределения углерода в зем-

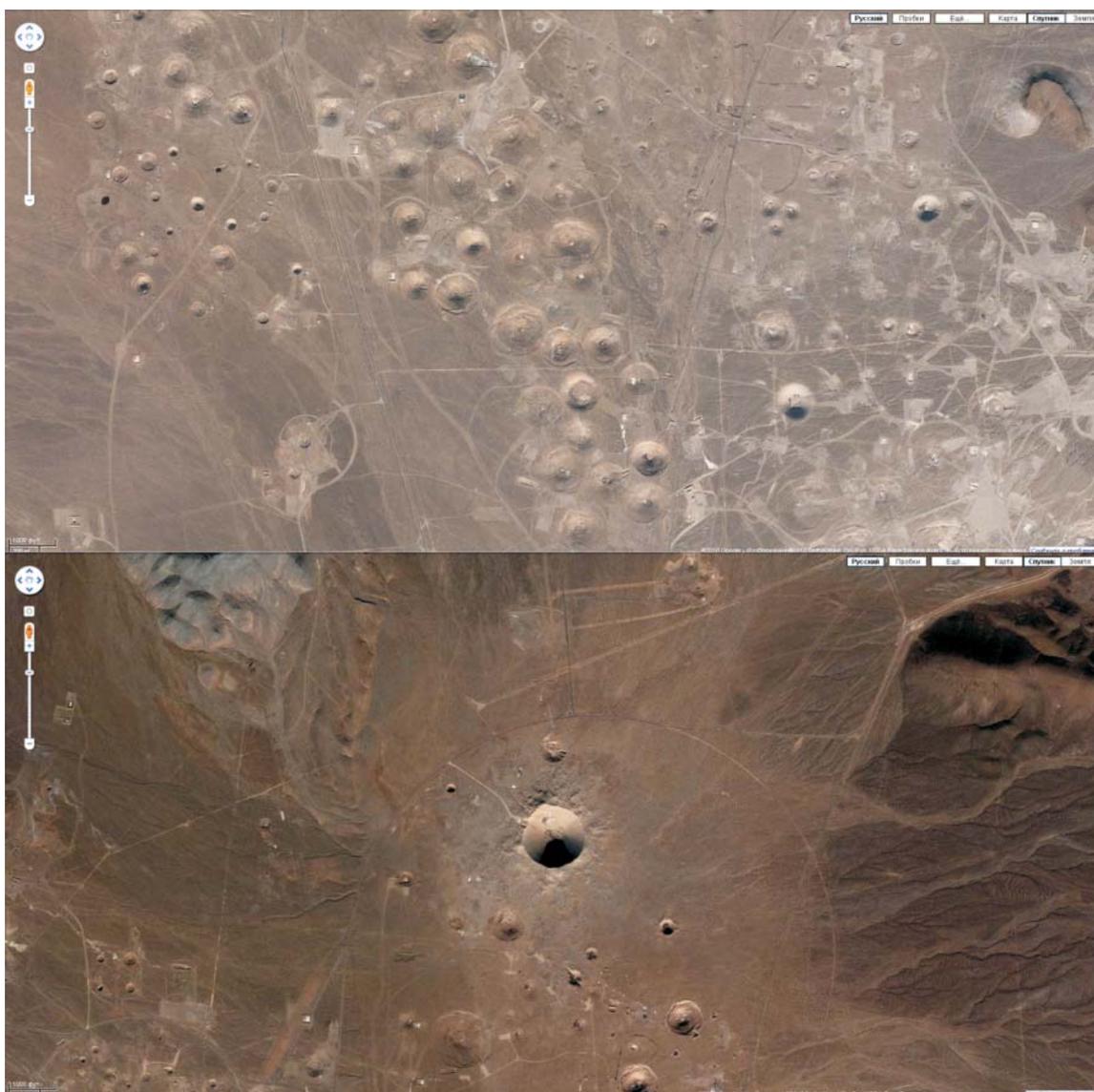


Рис. 2. Примеры активного кайнозойского и современного вулканизма на Калифорнийском западе США (Большой Бассейн, Сьерра-Невада), по материалам GoogleEarth.

Fig. 2. Examples of active Cenozoic and actual volcanism in California West of the USA (Great Basin, Sierra Nevada), according to the materials of GoogleEarth.

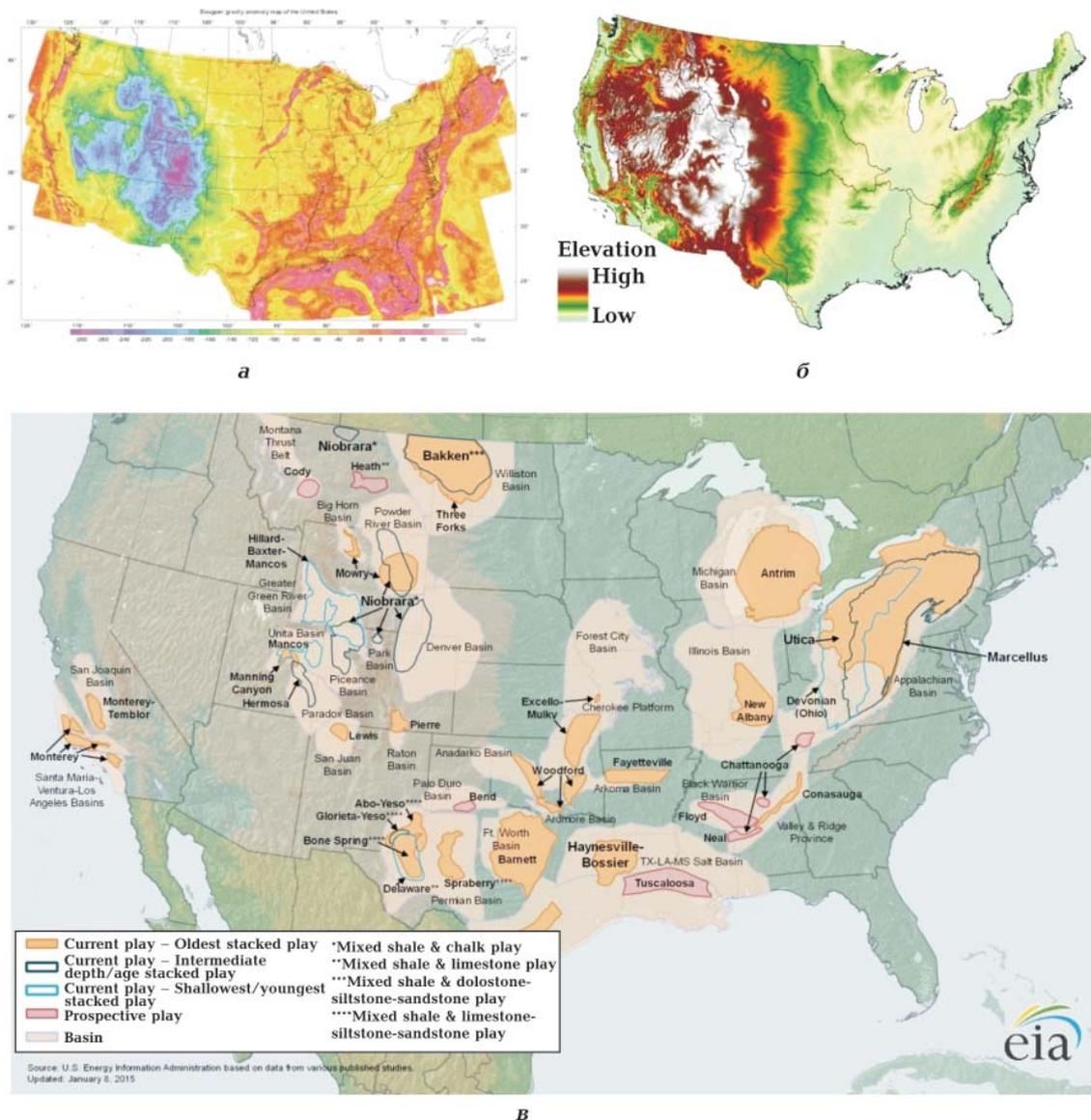


Рис. 3. Положение отрицательной аномалии гравитационного поля (а), морфоструктуры высокого стояния горного рельефа (б) и нефтегазоносных бассейнов (в) над аномально разогретым термальным углеродно-водородным плюмом, расположенным в западной части США.

Fig. 3. Position of negative anomaly of gravity field (а), morphostructure of high standing of mountain relief (б) and oil-and-gas basins (в) above anomalously heated thermal carbon-hydrogen plume situated in the western part of the USA.

ной коре и мантии Земли, рассматривать идеи Д.И. Менделеева, Н.А. Кудрявцева, В.Б. Порфирьева о неорганическом происхождении нефти и газа в качестве строгой научной теории с элементами предсказательной функции (функции предвидения научной теории). Прогресс науки и технологий в изучении глубинных недр Земли снимает эти ограничения.

Смысловой перевод выдержки из цитируемой статьи [Hier-Majumdera, Tauzinb, 2017]¹ сводится к следующему: «Мы со-

¹ We report from converted seismic waves, a pervasive seismically anomalous layer above the transition zone beneath the western US. The layer, characterized by an average shear wave speed reduction of 1.6%, spans over an area of $\sim 1.8 \cdot 10^6$ km² with thicknesses varying between 25 and 70 km. The location of the layer corre-

общаем о преобразованных сейсмических волнах, распространенном сейсмически аномальном слое над переходной зоной на юго-западе США. Слой, характеризующийся средним снижением скорости сдвиговой волны на 1,6 %, охватывает площадь $\approx 1,8 \cdot 10^6$ км² с толщиной, изменяющейся от 25 до 70 км. Расположение слоя коррелирует с нынешним расположением сегмента плиты Фараллона. Эта пространственная корреляция и резкий сейсмический сигнал на вершине слоя указывают на то, что слой обусловлен композиционной неоднородностью. Анализ сейсмической сигнатуры показывает, что композиционная неоднородность может быть отнесена к малому объему частичного расплава (в среднем $0,5 \pm 0,2$ об. %). В этой статье представлена первая карта высокого разрешения расплава, присутствующего в слое. Несмотря на пространственные колебания температуры, рассчитанная объемная доля расплава сильно коррелирует с амплитудой преобразования P-S по всему региону. Сравнительные значения температуры, рассчитанные по сейсмическому сигналу, с имеющимися петрологическими ограничениями, мы приходим к выводу, что плавление в слое вызвано высвобождением летучих веществ из субдуцированной плиты Фараллона. Эта частично расплавленная зона на юго-западе США может поглощать по меньшей мере $1,2 \cdot 10^{17}$ кг летучих веществ и может выступать в качестве крупного

lates with the present location of a segment of the Farallon plate. This spatial correlation and the sharp seismic signal atop of the layer indicate that the layer is caused by compositional heterogeneity. Analysis of the seismic signature reveals that the compositional heterogeneity can be ascribed to a small volume of partial melt (0.5 ± 0.2 vol% on average). This article presents the first high resolution map of the melt present within the layer. Despite spatial variations in temperature, the calculated melt volume fraction correlates strongly with the amplitude of P-S conversion throughout the region. Comparing the values of temperature calculated from the seismic signal with available petrological constraints, we infer that melting in the layer is caused by release of volatiles from the subducted Farallon slab. This partially molten zone beneath the western US can sequester at least $1.2 \cdot 10^{17}$ kg of volatiles, and can act as a large regional reservoir of volatile species such as H or C.

регионального резервуара летучих, таких как H или C».

В комментариях к этой статье [University ..., 2017] приведены следующие сведения²: «Новое исследование, опубликованное в *Earth and Planetary Science Letters*, описывает, как ученые использовали самый большой в мире массив сейсмических датчиков для картирования глубинной зоны плавления углерода, покрывающей 1,8 млн км². Расположенная в западной части США, в 350 км под поверхностью земли, обнаруженная область плавления показывает пример понимания того, сколько углерода на Земле содержится — гораздо больше, чем считалось раньше...

В результате этого исследования теперь ученые понимают, что количество CO₂ в верхней мантии Земли может достигать до 100 триллионов тн ($100 \cdot 10^{12}$). Для сравнения, по оценкам агентства США по охране окружающей среды глобальных выбросов углекислого газа в 2011 г. составил почти 10 млрд т. — ничтожная цифра при сравнении. Глубинный резервуар углерода, обнаруженный доктором Hier-Majumder, в конечном итоге пробивает путь на поверхность через вулканические извержения и способствует изменению климата, хотя и очень медленно».

Обсуждение. После ссылок на первоисточники, проведем расчеты весового содержания углерода на единицу объема частично расплавленной зоны для участка

² New research published in *Earth and Planetary Science Letters* describes how scientists have used the world's largest array of seismic sensors to map a deep-Earth area of melting carbon covering 1.8 million square km. Situated under the Western US, 350 km beneath the Earth's surface, the discovered melting region challenges accepted understanding of how much carbon the Earth contains — much more than previously understood. As a result of this study, scientists now understand the amount of CO₂ in the Earth's upper mantle may be up to 100 trillion metric tons. In comparison, the US Environmental Protection Agency estimates the global carbon emission in 2011 was nearly 10 billion metric tons — a tiny amount in comparison. The deep carbon reservoir discovered by Dr. Hier-Majumder will eventually make its way to the surface through volcanic eruptions, and contribute to climate change albeit very slowly.

земной коры и верхней мантии западной части США, который по всем признакам рассматривается как очаг (резервуар) глубинного нефтегазообразования. Исходные данные для расчетов, по [Hier-Majumdera, Tauzinb, 2017]: площадь резервуара (F , км²) $\sim 1,8 \cdot 10^6$ км²; толщина (H , км) колеблется в пределах от 25 до 70 км (для расчетов воспользуемся средней величиной 50 км). Помножив F на H , получим объем (V , км³) земной коры и верхней мантии, для которого выполнены оценки содержания углерода (летучих Н или С): $9 \cdot 10^7$ км³ или $9 \cdot 10^{13}$ м³.

Согласно приведенной оценке, частично расплавленная зона (резервуар) содержит не менее $1,2 \cdot 10^{17}$ кг летучих (Q , кг), таких как Н или С. Расчет ведем по углероду (С), поскольку водород (Н), не вступивший в химические связи, скорее всего, в силу своей подвижности не задерживается в верхней мантии. С учетом этих исходных данных, весовое содержание (концентрация) углерода на единицу объема земной коры и верхней мантии, для которого выполнены оценки содержания углерода, составит $1\,333,3$ кг/м³ или $1,3$ тн/м³ ($1,3$ г/см³).

При средней величине расплава пород верхней мантии $0,5 \pm 0,2$ % (на объем), объем области плавления земной коры (глубинного углеродного резервуара), содержащей оцененный объем летучих, составит: $4,5 \cdot 10^{11}$ м³. В таком представлении весовое содержание (концентрация) углерода на единицу объема частично расплавленной зоны глубинного углеродного резервуара составит: $2,67 \cdot 10^5$ кг/м³ или $266,67$ тн/м³ ($266,67$ г/см³).

Это очень высокие цифры, если не сказать фантастически высокие, характеризующие не просто высокое содержание углерода и водорода как основных доноров углеводородов, но и характеризующие концентрацию этих элементов в пределах определенных зон верхней мантии Земли (астеносферный слой), по всем основаниям (состав, концентрация, фазовое состояние, PT -условия) относимую нами к очагам глубинного нефтегазообразования.

Учитывая уникальность рассматриваемого

района не только в части его связи с термальным углеродно-водородным плюмом (УВП), но и в части структурно-геоморфологических признаков разгрузки этого плюма, рассмотрим кратко эти самые признаки как свидетельство глубинной природы всех наблюдаемых здесь структурно-минералогических парагенезов.

В результате выполненного анализа на западе США (Большой Бассейн, Сьерра-Невада, др.) наблюдаем проявление аномально разогретого термального углеродно-водородного плюма, разгрузка которого осуществляется через активный кайнозойский и современный вулканизм и гидротермальную деятельность (рис. 1, 2), включая повторяющиеся разгрузки Йеллоустонского супервулкана, с формированием в осевой части плюма золоторудной минерализации, гидротермальных бор-литиеносных месторождений (Крамер, Силвер-Пик, Серлс, Оуэнс и другие месторождения провинции Мохаве и Долины Смерти), а по окраинам этого плюма — нефтегазоносных бассейнов (западная периферия: Монтеррей, Санта-Мария, Лос-Анджелес, Сан-Хоакин, Южно-Калифорнийский, Калифорнийского залива; центральная часть: Монтана, Биг-Хорн, Паудер-Ривер, Сан-Хуан, Денвер, Йеллоустонский; восточная периферия: Западный Внутренний, Иллинойский, Мичиганский, Пермский).

Наблюдаемый глубинный структурно-минералогический парагенезис на западе США имеет в своей основе термальную импульс, вызвавший расплав и прожиг мантийно-коровых оболочек восходящими углеродно-водородными струями, связанными с позднемиоцен-четвертичной активизации возбужденного ядра Земли. Выраженный отрицательной аномалией гравитационного поля, высокого стояния и расчленения горного рельефа этот аномально разогретый термальное углеродно-водородный плюм, ассоциируемый нами с глубинным астеносферным очагом нефтегазообразования, контролирует по периферии нефтегазоносность осадочных бассейнов западной части США (рис. 3).

Закключение. Вопросы природы доноров, источников УВ и их наличия в количестве, достаточном для формирования известных на Земле объемов УВ (горючих ископаемых в целом), — ключевые в аргументации альтернативных теорий происхождения нефти и газа.

Как известно, дефицит водорода является «ахиллесовой пятой» органической теории при обосновании материального баланса в реакциях синтеза УВ из рассеянного органического вещества нефтематеринских толщ, без протонирования которого глубинным водородом эта «теория» изначально нежизнеспособна. В то же время многочисленными работами В.В. Адушкина, И.М. Белозерова, Г.И. Войтова, С.В. Дигонского, В.Н. Ларина, Ф.А. Летникова, А.А. Маракушева, В.Н. Румянцева, В.Л. Сывороткина, Д.Н. Тимофеева, А.И. Тихонова и др. показано существование неисчерпаемого источника водорода в ядре Земли (как известно, Н и С наряду с примесями S, O и N являются основными летучими компонентами глубинных флюидов), что обеспечивает неисчерпаемость и постоянную возобновляемость ресурсов УВ на нашей планете. Согласно «НПВ-концепции» [Белозеров и др., 2012], образование Н происходит в процессе естественной трансформации свободных нейтронов при экзотермическом «испарении» нейтроноизбыточного вещества с поверхности земного ядра (эндогенного нейтрон-протон-водородного потока).

Как же обстоит дело с углеродом? Для сравнения «мантийного» и «осадочного» объема углерода приведем данные по содержанию $C_{\text{орг}}$ в подземных водах и осадочных породах. Среднее содержание органического углерода (составляющего от 65 до 85 % ОВ) в осадочных породах составляет 0,55—0,6 %, что соответствует 13—15 кг в 1 м^3 породы. Общая масса рассеянного углеродистого вещества в континентальном секторе стратосферы составляет $(45—50) \cdot 10^{16}$ тн.

Это в 100 раз меньше чем весовое содержание (концентрация) углерода на единицу объема земной коры и верхней мантии,

согласно нашим расчетам (1 333,3 кг/м^3) лишь на участке западной части США. В масштабах всей планеты эта разница может составить 6—7 знаков.

По данным [Швец, 1973], общее количество органических веществ в подземных водах соизмеримо с количеством $C_{\text{орг}}$ во многих природных объектах и уступает лишь содержанию $C_{\text{орг}}$ в осадочных породах. Так, если не считать максимальных содержаний ОВ в приконтурных водах нефтегазовых месторождений, а принять за среднюю величину концентрации суммарного $C_{\text{орг}}$ 50 мг/л, то количество органического углерода в подземных водах 5-километровой зоны стратосферы составит $2,5 \cdot 10^{12}$ тн (для сравнения приведем сопоставимую цифру общего содержания $C_{\text{орг}}$ в водах Мирового океана, равную $2,0 \cdot 10^{12}$ тн).

Совершенно очевидно, что эти цифры при всей своей ничтожности на фоне гигантского содержания углерода в мантии (водород на Земле практически неисчерпаем), представляют не более как общий фон рассеяния углерода в процессе гравитационной дифференциации глубинного углеродсодержащего вещества Земли и метаморфизма глубинных УВ-систем при их разгрузке в аконсервационных условиях верхней части земной коры.

Наконец, для полноты картины масштабов присутствия углерода в составе оболочек Земли и как доказательство огромной роли углерода в строении ядра и нижней мантии Земли следует привести следующие данные [Анисичкин, 2000]. На основе анализа ударно-волновых исследований и метода нахождения скорости звука в веществах при высоких давлениях и плотностях, а также сейсмических исследований рассчитаны плотности при нормальных условиях и средние атомные массы гипотетических веществ, составляющих внутренние оболочки Земли. Согласно этим расчетам твердое железоникелевое ядро Земли может содержать 3,4—4,5 % углерода в алмазной фазе (или состоять из карбидов железа и никеля и 0,7—1,9 % свободного углерода в алмазной фазе). Внеш-

нее жидкое ядро может содержать $\approx 6,7\%$ углерода в растворе и $2,9\text{—}5,0\%$ алмазной фазы углерода. Низ мантии Земли может содержать до $17,5\%$ алмазных кристаллов [Анисичкин, 2000]³.

Следует напомнить, что углерод, помимо монокристаллических форм (алмаз и графит), в связанном состоянии образует в мантии Земли различные соединения (CO , CO_2 , CH , CH_4 , карбиды металлов: Fe , Ni , Co , Ti , V , Cr , Mo , др. и элементов: Ca , Na , K , муассанит — SiC , др.), в том числе новые (по А.Р. Оганову) карбонатные фазы — главные резервуары окисленного углерода в мантии (MgCO_3 , FeCO_3 , CaCO_3 , Ca_3CO_5 и CaC_2O_5).

Приведенные данные позволяют утверждать, что проблема доноров УВ глубинного, абиогенно-мантийного генезиса в нашем представлении снята, и с высокой вероятностью определен источник первичных доноров УВ в разрезе мантии и железоуглеродного ядра Земли, обладающий неисчерпаемыми ресурсами первичного углерода, фазовый состав кото-

рого в зависимости от PT -условий земных оболочек может быть кристаллическим (алмазная фаза, соединения с железом и никелем $(\text{Fe}_n + \text{Ni}_n) + \text{C}_n$, например, карбиды железа — FeC , Fe_2C , Fe_3C (цементит) и др.), жидким (например, расплав с примесью серы или другими летучими H-N-F-O-Cl) и газообразным (CO_2 — газообразный только в мантии, выше слоя D'').

При этом синтез УВ в промышленных масштабах осуществляется в процессе гидрогенезации глубинного углерода на восходящих водородных струях в пределах астеносферных линз, чему благоприятствует наличие здесь реакционного объема, катализаторов и необходимые PT -условия полимеризации углеводородных радикалов.

В дополнение к изложенному, на примере рассмотренного геофизического полигона в западной части США [Hier-Majumdera, Tauzinb, 2017], появился прецедент картирования и локализации очаговых зон глубинного нефтегазообразования по результатам глубинной сейсмической томографии и гравиметрических наблюдений, что усиливает предсказательную функцию и поисковые возможности теории неорганического происхождения углеводородов.

³ Учитывая существующие взгляды [Тимофеев, 2018], ставящие под сомнение железоникелевый состав ядра Земли, мы не обсуждаем в этой работе этот спорный вопрос.

Список литературы

- Анисичкин В.Ф. Ударно-волновые данные как доказательство присутствия углерода в ядре и нижней мантии Земли. *Физика горения и взрыва*. 2000. Т. 36. № 4. С. 108—115.
- Белозеров И.М., Козловский Е.А., Минин В.А., Митькин В.Н., Шаров Г.Н. Эндогенный водород как физико-химическая основа глубинного генезиса нефти и углеводородных газов. *Всероссийская конференция по глубинному генезису нефти, 1-е Кугрявцевские чтения, Москва, ЦГЭ, 22³/₄25 октября 2012*. Режим доступа: <http://www.asgeos.ru/data/Files/File/386.pdf>.
- Вернадский В.И. Биосфера. Москва: Мысль, 1967. 374 с.
- Вернадский В.И. Нефть как природное тело в науке XIX столетия. *Журнал Русского физико-химического общества*. 1901. Т. 33. Вып. 4. С. 59—66.
- Вернадский В.И. Очерки геохимии: 7-е изд. Москва: Наука, 1983. 422 с.
- Виноградов А.П. Происхождение оболочек Земли. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1962. № 11. С. 3—17.
- Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. Общая химия. Учебник. Москва: Химия, 1987, 464 с.
- Курс химии. Часть 2. Специальная для строительных институтов и факультетов. Под ред. В.А. Киреева. Москва: Высшая школа, 1975. 236 с.
- Ларин В.Н. Гипотеза изначально гидридной Земли. Москва: Недра, 1975. 100 с.
- Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные си-

- стемы Земли и проблемы рудогенеза. *Геология рудных месторождений*. 2001. Т. 43. № 4. С. 291—307.
- Лурье М.А., Шмидт Ф.К. К вопросу происхождения нефти. Гетерокомпоненты, изотопия углерода и серы нефтей как генетические показатели. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. 209 с.
- Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. Москва: Изд-во АН СССР, 1941, 268 с.
- Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. Москва: Изд. ООО «Геоинформцентр», 2002. 250 с.
- Тимофеев Д.И. Природа космических тел Солнечной системы. Красноярск: Город, 2018, 226 с.
- Тимурзиев А.И. Современное состояние теории происхождения и практики поисков нефти: тезисы к созданию научной теории прогнозирования и поисков глубинной нефти. *Глубинная нефть*. 2013. Т. 1. № 1. С. 18—44.
- Хомченко И.Г. Общая и неорганическая химия. Учебное пособие. Москва: Химия, 1981. 632 с.
- Швец В.М. Органические вещества подземных вод. Москва: Недра, 1973. 192.
- Hier-Majumdera, S., & Tauzinb, B. (2017). Pervasive upper mantle melting beneath the western US. *Earth and Planetary Science Letters*, 463(1), 25—35. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.12.041>.
- Deep Carbon Observatory. (2020). Режим доступа: <https://deepcarbon.net/>.
- University of Royal Holloway London. (2017, February 13). Scientists uncover huge 1.8 million square kilometers reservoir of melting carbon under Western United States. *ScienceDaily*. January 18, 2021. Retrieved from www.sciencedaily.com/releases/2017/02/170213090756.htm.

On the volumes of deep carbon — the initial donor of hydrocarbons on the Earth

A.I. Timursiev, 2021

JSC «Central Geophysical Expedition» Russian Academy of Natural Sciences,
Moscow, Russia

Existing notions on the distribution of carbon on the Earth have been considered in the article. By the example of the data on carbon content in the upper mantle of the Earth obtained in the west of the USA by deep seismic tomography method the appraisal of the resource potential of the interior has been made within the limits of the theory of the deep abiogenous-mantle origin of oil and gas. According to the given appraisal, the partly melted zone (reservoir) contains not less than $1.2 \cdot 10^{17}$ kg of volatiles (Q , kg), such as H or C. Calculation by carbon (C) taking into account the initial data demonstrated that the weight content (concentration) of carbon per unit volume of the Earth crust and upper mantle for which the appraisals of carbon content were completed will be $1\ 333.3\ \text{kg/m}^3$ or $1.3\ \text{t/m}^3$ ($1.3\ \text{g/cm}^3$).

With average amount of melt of the rocks of the upper mantle $0.5 \pm 0.2\%$ (per volume), the volume of the area of melting of the Earth crust (deep carbon reservoir), containing the appraised volume of volatiles, will be: $4.5 \cdot 10^{11}\ \text{m}^3$. In such a notion the weight content (concentration) of carbon per unit volume of partly melted zone of deep carbon reservoir will be: $2.67 \cdot 10^5\ \text{kg/m}^3$ or $266.67\ \text{t/m}^3$ ($266.67\ \text{g/cm}^3$). These are very high figures if not to say fantastically high, characterizing not only high content of carbon and hydrogen as the main donors of hydrocarbons but also characterizing concentration of these elements within definite zones of the upper mantle of the Earth (asthenospheric layer) by all components (composition, concentration, phase state, PT -conditions), which is referred by our opinion to the sources of deep oil and gas formation.

The data presented allow us to affirm that the problem of donors of HC of deep, abiogenic-mantle genesis has been resolved in our concept, and the source has been determined with high probability of the primary donors of HC in the section of the mantle and iron-carbon core of the Earth having inexhaustible resources of primary carbon, with its phase composition depending on *PT* conditions of the terrestrial envelopes might be crystalline (diamond phase, iron and nickel compounds $(Fe_n+Ni_n)+C_n$, iron carbides, for example — FeC, Fe₂C, Fe₃C (cementite) et al.), liquid (for example, the melt with admixture of sulfur and other volatiles H-N-F-O-Cl) and gaseous (CO₂ gaseous only in the mantle, higher than D" layer). In this case HC synthesis in industrial volumes is realized in the process of hydrogenation of deep carbon on the ascending hydrogen streams within the limits of asthenospheric lenses favoured by the presence of reaction volume here, catalysts and the necessary *PT*-conditions for polymerization of hydrocarbon radicals.

Key words: carbon, hydrogen, primary hydrocarbon donors, carbon degassing, carbon-hydrogen plume, structural-mineralogical parageneses, oil and gas presence in sedimentary basins.

References

- Anisichkin, V.F. (2000). Shock data as evidence for the presence of carbon in the core and lower mantle of the Earth. *Fizika goreniya i vzryva*, 36(4), 108—115 (in Russian).
- Belozarov, I.M., Kozlovskiy, E.A., Minin, V.A., Mitkin, V.N., & Sharov, G.N. (2012). Endogenous hydrogen as a physicochemical basis for the deep genesis of oil and hydrocarbon gases. *All-Russian Conference on Deep Genesis of Oil, 1st Kudryavtsev Readings*. Moscow, Central Geophysical Expedition, 22—25 October 2012. Retrieved from <http://www.asgeos.ru/data/Files/File/386.pdf> (in Russian).
- Vernadskiy, V.I. (1967). *Biosphere*. Moscow: Mysl, 374 p. (in Russian).
- Vernadskiy, V.I. (1901). Oil as a natural body in 19th century science. *Zhurnal Russkogo fiziko-khimicheskogo obshchestva*, 33(4), 59—66 (in Russian).
- Vernadskiy, V.I. (1983). *Essays on Geochemistry: 7th ed.* Moscow: Nauka, 422 p. (in Russian).
- Vinogradov, A.P. (1962). The origin of the shells of the Earth. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geologicheskaya*, (11), 3—17 (in Russian).
- Karapetyants, M.Kh., & Drakin, S.I. (1987). *General chemistry. Textbook*. Moscow: Chemistry, 464 p. (in Russian).
- Kireev, V.A. (Ed.). (1975). *Chemistry course. Part 2. Special for building institutes and faculties*. Moscow: Higher school, 236 p. (in Russian).
- Larin, V.N. (1975). *Hypothesis of an initially hydride Earth*. Moscow: Nedra, 100 p. (in Russian).
- Letnikov, F.A. (2001). Superdeep fluid systems of the Earth and problems of ore genesis. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 43(4), 291—307 (in Russian).
- Lurie, M.A., & Schmidt, F.K. (2013). *On the question of the origin of oil. Heterocomponents, carbon and sulfur isotopies of oils as genetic indicators*. Irkutsk: ISU Publ. house, 209 p. (in Russian).
- Oparin, A.I. (1941). *The emergence of life on Earth*. Moscow: Publ. house of the USSR Academy of Sciences, 268 p. (in Russian).
- Syvorotkin, V.L. (2002). *Deep degassing of the Earth and global catastrophes*. Moscow: Publ. house LLC «Geoinformcenter», 250 p. (in Russian).
- Timofeev, D.I. (2018). *The nature of the cosmic bodies of the solar system*. Krasnoyarsk: Gorod, 226 p. (in Russian).
- Timurziev, A.I. (2013). The current state of the theory of the origin and practice of oil prospecting: theses to the creation of a scientific theory of forecasting and prospecting for deep oil. *Glubinnaya neft'*, 1(1), 18—44 (in Russian).
- Khomchenko, I.G. (1981). *General and inorganic chemistry. Tutorial*. Moscow: Chimiya, 632 p. (in Russian).
- Shvets, V.M. (1973). *Organic matter of groundwater*. Moscow: Nedra, 192. (in Russian).

Hier-Majumdera, S., & Tauzinb, B. (2017). Pervasive upper mantle melting beneath the western US. *Earth and Planetary Science Letters*, 463(1), 25—35. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.12.041>.

Deep Carbon Observatory. (2020). Retrieved from <https://deepcarbon.net/>.

University of Royal Holloway London. (2017, February 13). Scientists uncover huge 1.8 million square kilometers reservoir of melting carbon under Western United States. *ScienceDaily*. January 18, 2021. Retrieved from www.sciencedaily.com/releases/2017/02/170213090756.htm.

Про обсяги глибинного вуглецю — первинного донора вуглеводнів на Землі

А.І. Тімурзієв, 2021

АТ «Центральна геофізична експедиція», Москва, Росія

Розглянуто існуючі уявлення про поширеність вуглецю на Землі. На прикладі даних щодо вмісту вуглецю у верхній мантії Землі, отриманих на заході США методом глибинної сейсмічної томографії, оцінено ресурсний потенціал надр у межах рамках теорії глибинного, абіогенно-мантіїного походження нафти і газу. Згідно з наведеним оцінюванням, частково розплавлена зона (резервуар) містить не менше $1,2 \cdot 10^{17}$ кг летючих (Q , кг), таких як водень або вуглець. Розрахунок по вуглецю (C) з урахуванням вихідних даних показав, що масовий вміст (концентрація) вуглецю на одиницю об'єму земної кори і верхньої мантії, для якого оцінено вміст вуглецю, становитиме $1\ 333,3\ \text{кг/м}^3$, або $1,3\ \text{т/м}^3$ ($1,3\ \text{г/см}^3$).

За середньої величини розплаву порід верхньої мантії $0,5 \pm 0,2\%$ (на об'єм), об'єм зони плавлення земної кори (глибинного вуглецевого резервуара), що містить оцінений об'єм летких, становитиме $4,5 \cdot 10^{11}\ \text{м}^3$. У такому поданні масовий вміст (концентрація) вуглецю на одиницю об'єму частково розплавленої зони глибинного вуглецевого резервуара дорівнюватиме $2,67 \cdot 10^5$, або $266,67\ \text{тн/м}^3$ ($266,67\ \text{г/см}^3$). Це дуже високі значення, якщо не сказати фантастично високі, що не характеризують високий вміст вуглецю і водню, як основних донорів вуглеводнів, а й концентрацію цих елементів у межах певних зон верхньої мантії Землі (астеносферний шар), по всіх підставах (склад, концентрація, фазовий стан, PT -умови) относимую нами до середовищ глибинного нафтогазоутворення.

Відповідно до наведених даних, можна стверджувати, що проблема донорів вуглеводнів глибинного, абіогенно-мантіїного генезису в нашій уяві знята, і з високою часткою ймовірності визначено джерело первинних донорів вуглеводнів у розрізі мантії і залізо-вуглецевого ядра Землі, що має невичерпні ресурси первинного вуглецю, фазовий склад якого залежно від PT -умов земних оболонок може бути кристалічним (алмазна фаза, сполуки із залізом і нікелем $(\text{Fe}_n + \text{Ni}_n) + \text{C}_n$, наприклад, карбіди заліза — FeC , Fe_2C , Fe_3C (цементит) та ін.), рідким (наприклад, розплав з домішкою сірки або іншими леткими H-N-F-O-Cl) і газоподібним (CO_2 газоподібний тільки в мантії, вище шару D''). При цьому синтез вуглеводнів у промислових масштабах здійснюється в процесі гідрогенезації глибинного вуглецю на висхідних водневих струменях у межах астеносферних лінз, чому сприяє наявність тут реакційного об'єму, каталізаторів та необхідні PT -умови полімеризації вуглеводневих радикалів.

Ключові слова: вуглець, водень, первинні донори вуглеводнів, вуглецева дегазація, вуглецево-водневий плюм, структурно-мінералогічні парагенези, нафтогазоносність осадових басейнів.