

**НАФТИДОПРОЯВЛЕНИЯ В КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБКАХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ**

**А.Ф. Сафронов, Н.Н. Зинчук\*, В.А. Каширцев, А.Э. Конторович\*\*, Э.А. Бондарев, И.Н. Зуева, О.Н. Чалая**

*Институт проблем нефти и газа СО РАН, 667891, Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия*

*\* Якутское научно-исследовательское геолого-разведочное предприятие ЦНИГРИ, 678170, Мирный, Чернышевское шоссе, 7, Россия*

*\*\* Институт геологии нефти и газа СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Осадочный чехол Якутской алмазонасной провинции (ЯАП) характеризуется обилием нафтидопроявлений разного масштаба и характера в очень широком стратиграфическом диапазоне. На территории ЯАП открыто несколько месторождений нефти и газа. Многочисленные нафтидопроявления зафиксированы в кимберлитовых трубках и во вмещающих породах. Геохимические характеристики образцов, занимающих разное положение по отношению к телу кимберлитовой трубки — кимберлита, ксенолита, вмещающих пород, представляют довольно пеструю картину. Их состав можно рассматривать как результат наложения двух процессов — термической деструкции и деасфальтизации нефтей. Приведенные расчеты температуры прогрева вмещающих пород и длительности остывания тела кимберлитовой трубки позволяют предполагать незначительную величину термической деструкции нафтидов как в ксенолитах, так и во вмещающих породах.

*Алмазонасная провинция, кимберлит, ксенолит, нафтиды, ИК-спектроскопия, температура прогрева.*

**NATURAL BITUMENS IN KIMBERLITE PIPES AND HOST ROCKS IN THE YAKUTIAN DIAMOND PROVINCE**

**A.F. Safronov, N.N. Zinchuk, V.A. Kashirtsev, A.E. Kontorovich, E.A. Bondarev, I.N. Zueva, and O.N. Chalaya**

Natural bitumens are widespread in the sedimentary cover of the Yakutian diamond province. They occur within a broad stratigraphic range and differ in size and character. A number of oil and gas fields have been discovered in the province. Numerous natural bitumen occurrences are found in kimberlite pipes and host rocks. Geochemical characteristics of the samples taken from different localities relative to the kimberlite pipe – kimberlite, xenolith, host rocks – display a rather intricate pattern. Their composition can be considered the result of superposition of two processes: thermal destruction and deasphaltization of oils. The calculated temperatures of host-rock heating and the time of kimberlite pipe cooling suggest a weak thermal destruction in both xenoliths and host rocks.

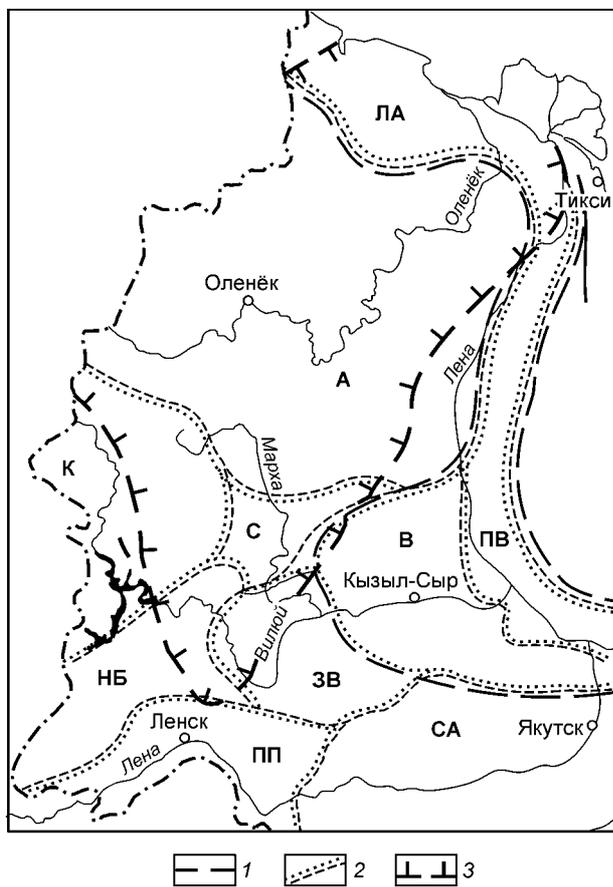
*Diamond province, kimberlite, xenolith, natural bitumen, IR spectroscopy, heating temperature*

**ВВЕДЕНИЕ**

Якутская алмазонасная провинция (ЯАП) располагается в северо-восточной части Сибирской платформы. Осадочный чехол провинции, за исключением Анабарского кристаллического щита, сложен терригенно-карбонатными отложениями протерозоя и галогенно-карбонатными кембрия. Терригенно-карбонатные отложения ордовика и силура распространены в юго-западной части провинции. На остальной территории посткембрийские отложения эродированы. Общий денудационный срез, по оценкам Ф.Ф. Брахфогеля [1], составляет для этой провинции 1—1,5 км. На ее территории располагается и Лено-Анабарский прогиб, в пределах которого осадочный чехол сложен помимо указанных отложений терригенными образованиями верхнего палеозоя и нижнего мезозоя.

В пределах ЯАП выделяется несколько алмазонасных районов: Малоботуобинский, Среднемархинский, Муно-Тюнгский, Анабарский, в которых выделяются кимберлитовые поля, образованные скоплениями кимберлитовых трубок и даек [2].

По нефтегеологическому районированию территория располагается в пределах Лено-Тунгусской нефтегазонасной провинции (НГП). Территориально ЯАП охватывает несколько нефтегазонасной об-



**Рис. 1. Схематическая карта Якутской алмазоносной провинции с элементами нефтегеологического районирования.**

Граница: 1 — нефтегазоносных провинций, 2 — нефтегазоносных областей, 3 — Якутской алмазоносной провинции. **Нефтегазоносные области:** Лено-Вилуйская НГП: ЛА — Лено-Анабарская, ПВ — Предверхоанская, В — Вилуйская; Лено-Енисейская НГП: НБ — Непско-Ботуобинская, ПП — Предпатамская, ЗВ — Западно-Вилуйская, СА — Северо-Алданская, С — Сюгджерская, К — Курейская, А — Анабарская.

ластей (НГО): северо-восточную окраину Непско-Ботуобинской, целиком Сюгджерскую, восточную часть Катангской, западную часть Западно-Вилуйской, большую часть Анабарской и Лено-Анабарскую (рис. 1).

Осадочный чехол ЯАП характеризуется обилием нафтидопроявлений различного масштаба и характера в очень широком стратиграфическом диапазоне. В относящейся территориально к ЯАП Непско-Ботуобинской НГО открыто несколько газонефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений.

Первые сведения о присутствии природных битумов в породах этой территории относятся еще к началу XIX века. А.Е. Фигурин, участник экспедиции П.Ф. Анжу, писал в своих дневниках (1823 г.) о находках „горной смолы“ в береговых скалах р. Оленек. Первые глубокие скважины были пробурены на южном склоне Анабарской антеклизы, на Мархинском валу — опорная (Р-1) и поисковая (Р-2), которыми в низах разреза старореченской свиты

(венд) вскрыт 20-метровый пласт песчаников, насыщенных нефтью. Нефтегазопроявления разного характера и масштаба были зафиксированы при проведении разведочных работ на кимберлитовых трубках ЯАП. Наиболее интенсивные газопроявления наблюдались при бурении разведочных скважин на тр. Удачная [3]. Так, в 1952 г. при бурении скв. 42 с глубины 367,9 м произошел выброс газа. Открытое аварийное фонтанирование с дебитом газа (по разным оценкам) от десятков до 100 тыс. м<sup>3</sup> продолжалось 5 дней. В окрестностях г. Мирный в непосредственной близости друг от друга расположены кимберлитовые тр. Мир, Интернациональная и газонефтяное Иреляхское месторождение, что само по себе является уникальным фактом.

Масштабы и характер нафтидопроявлений на территории ЯАП изучали в разные годы К.К. Макаров, А.И. Косолапов, И.С. Гольдберг, Н.С. Бескровный, Т.К. Баженова, Д.С. Яшин, Б.А. Клубов, Е.И. Бодунов и др.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА НАФТИДОПРОЯВЛЕНИЙ ЯАП

На территории ЯАП в позднекембрийских и кембрийских отложениях выделяется несколько битумных полей, представляющих собой выходы на дневную поверхность битумонасыщенных (2 % и более) пород, — Силигир-Мархинское (на территории этого поля пробурена Мархинская опорная, а также несколько колонковых скважин глубиной до 1100 м; генетически с этим же битумным полем связан и известный Кюэнеликанский естественный источник нефти), Восточно-Анабарское и Центрально-Оленекское.



**Рис. 2. Нефтепроявления в шахте рудника тр. Интернациональная.**

Горизонт VIII, околоствольный двор, сопряжение № 3.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика нафтидов тр. Удачная

Нафтиды	Структурно-химические параметры										ГЖХ			
	ИКС ХБ (коэффициент поглощения, 1/мм)					С <sub>ар</sub> , % на масла	ПАУ, % на Н-А фракцию	Кэф. гибридности Н-А УВ	Состав ХБ, %			Максимум распределения n-алканов	12-, 13-метилалканы, % на Σ <sub>идент</sub> УВ	Изопр./n-алканы
	K <sub>720</sub>	K <sub>730</sub>	K <sub>750</sub>	K <sub>1600</sub>	K <sub>1700</sub>				Масла	Смолы	Асфальтены			
Нефти тр. Удачная, 140—530 м Рудник Интернациональный, 625—1025 м	4,8—6,2	Отс.	3,4—4,6	2,4—4,8	0,4—1,9	5,7—8,7	5,3—8,4	3,1—6,1	62,1—67,1	26,4—35,9	2,0—6,5	C <sub>15-17</sub>	5,4—8,9	0,18—0,23
	6,0	»	4,5	2,4	Отс.	6,0	Не опр.	Не опр.	60,2	37,2	2,6	C <sub>15</sub>	7,3	0,30
Мальты тр. Удачная, 59—1478 м	3,6—15,0	»	3,0—13,2	2,5—12,5	1,6—9,2	5,1—10,7	4,9—9,6	4,2—10,1	49,6—64,0	29,3—43,5	1,3—16,3	C <sub>15—18</sub>	4,3—10,9	0,10—0,30
	3,6—8,5	»	3,2—11,0	4,1—12,0	3,8—8,2	6,3—9,7	13,3	Не опр.	29,5—30,3	21,1—50,4	19,6—50,5	C <sub>16—18</sub>	Не опр.	0,10—0,20

Примечание. Здесь и в табл. 2: Н-А — нефтеново-ароматическая фракция УВ. Не опр. — не определено; Не обн. — не обнаружено; Отс. — отсутствует.

Многочисленные нафтидопроявления зафиксированы в рудном теле тр. Удачная и во вмещающих породах. Наличие здесь желтоватых подвижных нефтей, битумов черного цвета различной консистенции можно рассматривать как свидетельство разновременности миграции нефти в рассматриваемом районе. Нафтидопроявления по результатам бурения гидрогеологических скважин, по площади и по разрезу вмещающих пород распределены крайне неравномерно [4]. Наиболее насыщены вмещающие породы северо-восточного фланга кимберлитового тела. Здесь нефтенасыщенность фиксируется с дневной поверхности до 650—700 м, достигая наибольшей интенсивности в интервале глубин 250—500 м, где толщина нефтенасыщенных прослоев достигает 15 м. На западном фланге кимберлитового поля наибольшая нефтенасыщенность вмещающих пород фиксируется на глубинах 650—900 м, нефтенасыщен также интервал 1180—1475 м. Толщина обильно пропитанных нефтью частей разреза достигает 11 м. На южном фланге нафтидопроявления отмечаются с глубин 100—150 м до забоя скважин (1500 м). Увеличение степени насыщенности разреза фиксируется до 700 м, а ниже по разрезу интенсивность насыщенности разреза нефтью и битумом падает. Нафтидопроявления приурочены исключительно к породам с более высокими коллекторскими свойствами — к кавернозно-пористым доломитам. Стратиграфически эти нафтидопроявления в большей степени приурочены к средне- и верхнекембрийским отложениям. Само кимберлитовое тело также характеризуется интенсивной насыщенностью битумом и нефтью. Битум и нефть фиксируются в трещиноватых и брекчированных зонах; интенсивность их проявлений возрастает в зонах контакта тела трубки с вмещающими породами. Было подсчитано [4], что во вмещающих тр. Удачная осадочных породах на площади 1 км<sup>2</sup> и до глубины 1,5 км количество нафтидов составляет примерно 3,4 млрд т.

В подземных горных выработках рудника тр. Интернациональная также зафиксированы многочисленные нафтидопроявления (рис. 2).

Эффективные газо- и нефтепроявления в кимберлитовых трубках ЯАП и Южной Африки приводились в качестве одного из аргументов в пользу абиогенной природы нефти и газа (Н.А. Кудрявцев, В.Б. Порфирьев, А.И. Кравцов).

В данной статье приводятся данные более чем 20-летних исследований нафтидопроявлений ЯАП в Институте геологических наук и в Институте проблем нефти и газа СО РАН.

Характер нафтидопроявлений в кимберлитовых телах и вмещающих их осадочных породах наиболее полно изучен по материалам тр. Удачная. Всего проанализированы 9 образцов нефтей и 82 — хлороформенных битумоидов (ХБ) пород. В большинстве своем, согласно классификации В.А. Успенского [5], исследованные нафтиды по особенностям их группового и элементного состава можно отнести к классам нефтей, мальт и асфальтов [4].

Нефти из средне- и верхнекембрийских отложений района тр. Удачная достаточно близки по физико-химическим свойствам (табл. 1). По ряду геохимических показателей, а именно: характеру распределения нормальных



Рис. 3. ИК-спектры нафтидов тр. Удачная.

Толщина поглощающего слоя 50 мкм.

и изопреноидных алканов, присутствию 12- и 13-метиалканов, наличию порфириновых комплексов, в составе которых ванадил-порфирины преобладают над никель-порфиринами — нефти, мальты и асфальты тр. Удачная обнаруживают большое сходство с нефтями Непско-Ботубобинской антеклизы. Генезис последних связывают с планктогенно-водорослевым ОВ древних докембрийских отложений [6, 7]. В частности, по физико-химическим свойствам нефть тр. Удачная близка к нефти, отобранной с глубины 625—1025 м из ствола шахты тр. Интернациональная (см. табл. 1).

Наряду с близким составом реликтовых УВ обращает на себя внимание однотипность ИК-спектров нефракционированных нефтей тр. Удачная (рис. 3), а также ИК-спектров одноименных фракций: масел, смол и асфальтенов. Кроме того, отмечается повторяемость типа углеродного скелета в химической структуре углеводородной и асфальтово-смолистой части нефтей. Это выражается в преобладании длинных метиленовых цепей с последовательным нарастанием участия ароматических циклов и периферийных кислород- и серосодержащих групп и связей во фракциях нефтей в ряду: масла—смолы—асфальтены. Подобная повторяемость типа углеродного скелета прослеживается также в мальтах и асфальтах, т. е. можно говорить об однотипности углеродного скелета одноименных фракций в генетическом ряду: нефти—мальты—асфальты. Ранее было показано [8], что для нафтидов этого генетического ряда совпадает и характер распределения ароматических ядер по числу колец:  $C_{\text{нафталины}} > C_{\text{фенантрены}} > C_{\text{хризены}} > C_{\text{пирены}} > C_{\text{антрацены}}$  т. е. общим для этих нафтидов является преобладание бициклических ароматических УВ над три- и тетрациклическими. Подобные особенности распределения УВ могут указывать не только на единый генетический источник углеводородных флюидов, но и на общий механизм формирования нафтидоскоплений. Отмеченные особенности химического строения нефтей района тр. Удачная в равной степени присущи и нефтям венд-нижнекембрийских отложений Непско-Ботубобинской НГО [6, 7].

Приведенные выше данные подтверждают не оспариваемую никем аллохтонность нафтидопроявлений в Далдыно-Алакитском районе. Остается открытым вопрос о времени поступления в нижнепалеозойские отложения миграционного потока УВ из зон генерации. И.С. Гольдберг и К.К. Макаров [9] на южном склоне Анабарской антеклизы выделяли одну доверхнепалеозойскую стадию миграции УВ, датируя ее как послевержнедевонскую—доверхнепермскую, т. е. стадию, состоящую после проявления основной фазы кимберлитового магматизма. В частности, они обратили внимание на редкость находок метаморфизованных нефтяных битумов вблизи широко развитых трапповых интрузивных тел. В качестве такого редкого примера на южном склоне Анабарской антеклизы они отмечают включения „пластового“ антракосолита в известковистом доломите на контакте с трапповой дайкой в Сытыканской скв. 3.

Рассмотрим с этих позиций спектральные характеристики, групповой состав хлороформных битумоидов (ХБ) и характер распределения реликтовых УВ в образцах, занимающих разное положение по отношению к телу кимберлитовой трубки — ксенолит, представляющий собой доломит, пропитанный битумом; различные включения битума в кимберлите; битум из зоны контакта вмещающих пород с трубкой (табл. 2.). Все эти образцы весьма разнообразны по составу, а их „неспецифичность“ наглядно отражает характер ИК-спектров (рис. 4).

Образец из зоны контакта вмещающих пород с кимберлитовым телом тр. Удачная (обр. 5) по конфигурации полос в ИК-спектре очень напоминает озокериты характерным расщеплением полосы  $720 \text{ см}^{-1}$ , присущим твердым парафиновым УВ. Первоначально этот образец рассматривался как „озокеритоподобный“ битум [8], однако от типичных озокеритов, которые нацело сложены алифатическими структурами, он отличается заметным количеством ароматических структур (полосы поглощения  $810, 880, 1600 \text{ см}^{-1}$ ). Интересно отметить, что при достаточно алифатическом характере битумоида в целом, во фракции масел нафтеново-ароматические УВ доминируют над метаново-нафтеновыми (60 и 40 % соответственно). Содержание ароматического углерода в маслах составляет 22,5 %, что заметно выше, чем в образцах из тела кимберлитовой трубки (см. табл. 2). Спектры смолистых компонентов ХБ также указывают на большое количество ароматических структур (см. рис. 4). В составе ароматических УВ отмечается большое количество полициклических аренов —  $Ar_3$  (табл. 3). В групповом составе ХБ очень высокое содержание асфальтенов — 41 % (см. табл. 2). По данным ГЖХ, в составе *n*-алканов отмечается высокое содержание относительно высокомолекулярных УВ *n*- $C_{28}$ —*n*- $C_{39}$ , составляющих 56% от суммы

Таблица 2.

Физико-химическая характеристика битумоидной части пород для локальных битумопроявлений тр. Удачная

Положение в теле трубки	Образец	Трубка	Структурно-химические параметры										ГЖХ			
			ИКС ХБ (коэффициент поглощения, 1/мм)					С <sub>ар</sub> % на масла	Коэф. гибридности Н-А УВ	Состав ХБ, %			Максимум распределения <i>n</i> -алканов	12-, 13-метилалканы, % на Σ <sub>идент</sub> УВ	Изопр./ <i>n</i> -алканы	
			K <sub>720</sub>	K <sub>730</sub>	K <sub>750</sub>	K <sub>1600</sub>	K <sub>1700</sub>			Масла	Смолы	Асфальтены				
Ксенолит	1	Удачная, скв. 209, 792—793,6 м	8,7	9,6	10,2	10,2	10,2	12,7	35,7	0,7	63	28	9	С <sub>19—21</sub>	5,3	0,04
Кимберлит	2	Мир	31,7	31,7	Отс.	9,3	9,7	Не опр.	Не опр.	43	30	27	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	3	Удачная, Западная, 826 м	12,3	11,5	15,0	15,0	23,5	1,2	14,3	1,2	52	40	8	»	»	»
Зона контакта	4	Удачная, Восточная, 50—70 м	3,7	Отс.	3,0	2,5	2,0	2,3	10,6	2,3	66	32	2	С <sub>17</sub>	9,5	0,50
	5	Удачная, Восточная, 50—70 м	19,5	17,5	3,2	3,4	1,1	1,7	22,5	1,7	36	23	41	С <sub>36</sub>	Не обн.	0,10

*n*-алканов, и смещение максимума распределения на *n*-C<sub>36</sub> по сравнению с *n*-C<sub>15</sub>—*n*-C<sub>18</sub> в других рассматриваемых образцах. Последнее, возможно, обусловлено влиянием термического воздействия, результатом которого мог стать синтез высокомолекулярных алканов из низкомолекулярных. Кроме того, в составе *n*-алканов не обнаружены реликтовые УВ 12- и 13-метилалканы, присутствующие во всех других образцах. Сопоставление всех приведенных характеристик данного образца позволяет сделать вывод о том, что фиксируемое их сочетание обусловлено воздействием высоких температур в зоне контакта кимберлитового тела с вмещающими породами.

К образцу (обр. 5) из зоны контакта весьма близок обр. 2, представляющий собой включение твердого битума в кимберлите тр. Мир (см. табл. 2). Для этого образца характерно наиболее высокое содержание твердых парафинов (среди сравниваемых образцов), заметное количество асфальтенов в групповом составе ХБ. Повышенное содержание твердых парафинов и очень высокое содержание ароматических циклов характерно и для обр. 3 (см. табл. 2, рис. 4).

Весьма своеобразен по составу ХБ обр. 1 из ксенолита (см. табл. 2, рис. 4), представляющего собой доломит темно-серого цвета, пропитанный битумом. От описанных выше битумоид заметно отличается меньшим содержанием твердых парафинов на фоне сравнительно высокого содержания ароматических циклов  $K_{1600} = 10,2$ . В составе масляной части ХБ содержание ароматического углерода достигает 35,7 %, что существенно превышает это значение для образца из зоны контакта (обр. 5 — 22,5 %), и тем более для нефтей, мальт и асфальтов (см. табл. 1). Для ароматических УВ этого образца характерно преобладание полициклических структур — Ar<sub>3</sub> над суммой моно- и бициклических — Ar<sub>1+2</sub> (см. табл. 3). Суммарное содержание полициклических аренов (фенантронов, хризенов, пиренов и антраценов) составляет 15,38 %. По сравнению с другими рассматриваемыми образцами здесь изменяется и характер распределения по числу колец:  $S_{\text{фенантроны}} > S_{\text{хризены}} > S_{\text{нафталины}} > S_{\text{спирены}} > S_{\text{антрацен}}$ , т. е. три- и тетрациклические арены преобладают над бициклическими. Подобное распределение характерно для нафтидов, подвергшихся процессам термодеструкции, последние приводят к образованию более сложных полициклических аренов [10]. Смещение максимума в распределении *n*-алканов в относительно более высокомолекулярную область (*n*-C<sub>19—21</sub>), по сравнению с рассматриваемыми образцами нефтей и мальт (см. табл. 1), также может свидетельствовать о термическом воздействии на обр. 1. Вместе с тем высокое содержание масел, низкое количество асфальтенов, высокое содержание низкомолекулярных гомологов *n*-алканов и наличие 12- и 13-метилалканов (см. табл. 2) указывают на то, что в составе этого битума присутствуют также УВ более поздней генерации.

В битуме из кимберлита (обр. 3) отмечается присутствие твердых парафинов и очень высокое содержание ароматических циклов (см. табл. 2, рис. 4). От битумоида из ксенолита (обр. 1) этот образец отличается меньшим содержанием ароматических структур в углеводородной части (см. табл. 2). В то же время смолистая часть этого битумоида носит ярко выраженный ароматический характер. Другими словами, для этого образца характерно несоответствие в строении углеродного скелета углеводородной и смолистой составляющих ХБ.

Наиболее существенному, на наш взгляд, термическому воздействию подвергся битум из зоны контакта (обр. 5). Об

Положение в теле трубки	Образец	Трубка, глубина, м	Литология	ИК-спектры
Ксенолит	1	Удачная, скв. 209, 792-793,6	Доломит темно-серый, пропитанный битумом	
Кимберлит	2	Мир	Включения твердого битума из кимберлитового вещества осн. тела	
	3	Удачная Западная, 826	Кимберлитовая порода с битумом	
	4 (мальта)	Удачная Восточная, 50-70	Битум из каверны в кимберлите	
Зона контакта	5	Удачная Восточная, 50-70	Битум твердый	

Рис. 4. ИК-спектры битумоидной части пород в районе кимберлитовых трубок.

Толщина поглощающего слоя 30 мкм.

этом свидетельствуют ароматический характер УВ-части, смещение максимума распределения *n*-алканов в высокомолекулярную область ( $C_{36}$ ) и отсутствие 12-, 13-метилалканов.

Нельзя не заметить, что степень термической преобразованности рассматриваемых образцов не столь уж значительна. По структурно-химическим показателям среди проанализированных образцов не обна-

Таблица 3. Распределение ароматических циклов по числу колец в нафтеново-ароматической фракции нафтидов, %

Положение в теле трубки	Образец	Содержание ароматических УВ на $\Sigma$ УВ, %		Нафталиновые	Фенантроновые	Хризеновые	Пиреновые	Антраценовые	$\Sigma$ ПАУ
		$Ar_{1+2}$	$Ar_3$						
Ксенолит	1	19,4	39,6	4,3	7,2	4,5	2,4	1,4	15,4
Зона контакта	5	31,1	29,0	<i>Не определено</i>					
Кимберлит	6	35,8	20,4	5,4	2,8	1,4	0,6	0,1	4,9
	4	25,8	13,1	6,2	4,1	2,1	0,7	0,2	7,1
Вмещающие породы	Нефти	$\Sigma Ar_{1+2} > Ar_3$		4,6—7,8	2,8—5,9	1,0—2,0	0,2—0,6	0—0,06	4,2—8,4
	Мальты	$\Sigma Ar_{1+2} > Ar_3$		4,2—10,0	2,8—7,9	0,7—2,7	0,4—1,1	0—0,3	4,9—9,6
	Асфальты			9,1	7,4	4,6	0,9	0,3	13,3

ружены разновидности метаморфического ряда нафтидов, такие как кериты, низшие и высшие антраксолиты, которые являются продуктами глубокой химической деструкции.

В свое время И.С. Гольдберг и К.К. Макаров отмечали: „...в зонах, подвергшихся термальному воздействию кимберлитового расплава трубки взрыва Удачная, в отложениях верхнего кембрия отсутствуют метаморфизованные битумы при наличии интенсивных проявлений жидкой нефти“ [9, с. 11—12] и сделали вывод об отсутствии нефтепроявлений в районе кимберлитового поля до образования трубки. Кроме того, они пришли к заключению об одной доверхнепалеозойской стадии миграции УВ, датируя ее как послевержнедевонскую—доверхнепермскую, т. е. стадию миграции после образования кимберлитовых трубок взрыва.

Однако, на наш взгляд, отсутствие в рассмотренных образцах следов высокотемпературного воздействия на нафтиды еще не является прямым доказательством отсутствия нефтей в осадочном чехле в районах кимберлитовых трубок до момента их образования.

Температура кимберлитового магматического материала в момент образования трубки взрыва, по оценкам специалистов, не превышает 1000 °С [11]. При этом, по мнению С.И. Костровицкого, определяющим фактором температуры кимберлитового магматического материала является его газонасыщенность. С увеличением количества газовой фазы во флюидной системе температура ее уменьшается. По расчетам В.С. Шкодзинского [12], предложившего декомпрессионно-диссипативный механизм формирования кимберлитовых трубок, в момент образования трубки взрыва температура (900 °С) магматического материала практически мгновенно (вероятно, в течение нескольких минут) снижается при достигающем земной поверхности взрыве на 580 °С. В случае недостижения фронтом взрыва земной поверхности, по мнению В.С. Шкодзинского, „охлаждение будет несколько меньшим, но все же останется значительным“ [12, с. 105]. В пользу сравнительно низкой температуры кимберлитового расплава в момент внедрения можно привести наличие микролитовых форм кальцита, кристаллизовавшихся при температуре ниже 650 °С, отсутствие закалки вокруг ксенолитов метаморфических и карбонатных пород [13].

Попытаемся, с известной долей условности, определить продолжительность остывания тела кимберлитовой трубки с момента формирования диатремы с целью определения возможной длительности и интенсивности термального воздействия этого геологического тела на нафтиды, находившиеся в этот период во вмещающих породах и в ксенолитах.

Для описания исследуемого процесса воспользуемся математической моделью теплового взаимодействия сильно нагретого идеального проводника (кимберлитовое тело), имеющего форму цилиндра, с окружающей теплопроводной средой (вмещающие породы), имеющей много меньшую температуру. Теплофизические характеристики обеих сред будем считать постоянными, а теплообмен между идеальным проводником и окружающими породами — происходящим по закону Ньютона. В этом случае исходные уравнения будут состоять:

— из уравнения теплового баланса для идеального проводника

$$\frac{dT_1}{d\tau} = \beta(T_2 - T_1), \quad (1)$$

— из уравнения теплопроводности для осадочных пород

$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r}, \quad (2)$$

— из соответствующих граничных и начальных условий:

$$\left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=1} = b(T_2 - T_1),$$

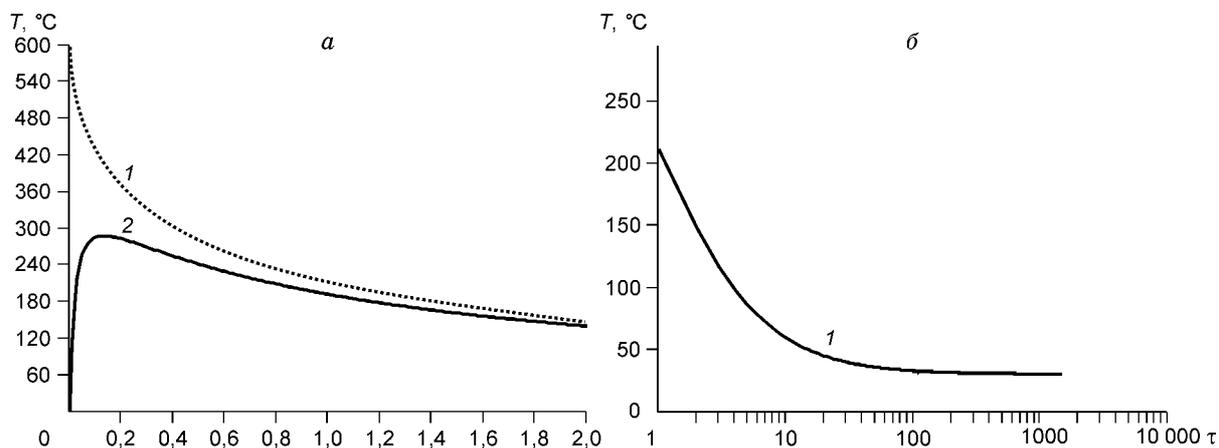
$$T_2(0, r) = 0, \quad T_1(0, r) = T_{10} - T_{20}, \quad T_2(\tau, \infty) = 0, \quad (3)$$

где  $\beta = \alpha R / c_1 \rho_1 \kappa_2$ ,  $b = \alpha R / \lambda_2$ ,  $r = \bar{r} / R$ ,  $\tau = \kappa^2 t / R^2$ .

Здесь  $\bar{r}$  — радиальная координата, отсчитываемая от оси кимберлитового тела;  $t$  — время;  $T$  — температура;  $R$  — радиус кимберлитового тела;  $\alpha$  — коэффициент теплообмена;  $c\rho$  — объемная теплоемкость;  $\lambda$  — теплопроводность;  $\kappa$  — температуропроводность. Нижние индексы 1 и 2 относятся к кимберлитовому телу и вмещающим породам соответственно, а индекс 0 — к начальному состоянию.

Для решения сформулированной задачи воспользуемся интегральным преобразованием Лапласа [14, 15]. В результате выражение для изменения температуры интрузии во времени получит следующую квадратичную форму:

$$T_1 = T_{20} + \frac{4(T_{10} - T_{20})}{\pi^2} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\exp(-\tau u^2)}{u f(u)} du, \quad (4)$$



**Рис. 5. Изменение температуры кимберлитового тела (1) и вмещающих пород на расстоянии 30 м от кимберлитового тела (2):**

*a* — на первом, *б* — на втором этапе остывания.

где

$$f(u) = (u \cdot J_0(u) - a \cdot J_1(u))^2 + (u \cdot Y_0(u) - a \cdot Y_1(u))^2, \quad a = c_1 \rho_1 / c_2 \rho_2.$$

Символами  $J_0$ ,  $J_1$ ,  $Y_0$ ,  $Y_1$  обозначены функции Бесселя первого и второго рода нулевого и первого порядков.

Вычисления по формуле (4) выполнены при следующих исходных данных:  $R = 150$  м,  $T_{10} = 600$  °С,  $T_{20} = 30$  °С,  $a = 1$ . Их результаты отражают рис. 4, 5, *a*, где по горизонтальной оси отложено безразмерное время (нормальная и логарифмическая шкалы), по вертикальной — температура кимберлитового тела. Из представленного следует, что процесс остывания можно разделить на два этапа: первый — очень быстрое (чуть больше 20 тыс. лет) остывание кимберлитового тела (от 600 до примерно 40 °С) и второй — длительное (почти 1 млн лет) остывание кимберлитового тела до температуры вмещающих пород. Кривая 1 на рис. 5, *a* отражает первый этап остывания кимберлитового тела (временная шкала ограничена для наглядности). Динамика второго этапа остывания кимберлитового тела отражена на рис. 5, *б*. Изменение температуры вмещающих пород во времени на небольшом расстоянии от кимберлитового тела (30 м) иллюстрирует кривая 2 на рис. 5, *a*, из которого следует, что начальный период быстрого их нагрева (до  $\approx 280$  °С) сменяется длительным остыванием по почти линейному закону.

Полученные результаты по оценке динамики остывания тела кимберлитовой трубки и нагревания вмещающих пород в приконтактной зоне позволяют сделать предположение о весьма невысокой возможной степени термического преобразования нефтидов, которые могли находиться во вмещающих породах и в ксенолитах как в момент формирования кимберлитовой трубки, так и в процессе ее остывания. Можно только допустить более высокую степень термического воздействия кимберлитового расплава на макроскопление (залежь) нефтидов. Следует также заметить, что в приведенных расчетах не учитывается конвективная составляющая теплообмена, зависящая от масштабов миграции флюидов (в преобладающем объеме — воды) во вмещающих породах, которая должна способствовать более быстрому остыванию, по крайней мере, вмещающих пород. Следовательно, отсутствие нефтидов, несущих следы интенсивного термического воздействия, на наш взгляд, еще не является доказательством отсутствия нефтидов в осадочном чехле в момент формирования кимберлитовой трубки.

Анализ пространственно-временных соотношений размещения зон генерации, транзита и аккумуляции УВ в верхнедевонских—нижнепалеозойских отложениях на территории современной Вилюйской синеклизы и юго-восточного склона Анабарской антеклизы позволяет предполагать присутствие нефтидов в осадочном разрезе в районе тр. Удачная еще в доверхнедевонское время, а наиболее интенсивное проявление миграционных процессов в этом районе приходится на послепермское время.

## ВЫВОДЫ

Групповой состав и структурно-химические показатели ХБ, а также характер распределения реликтовых углеводородов в образцах, занимающих разное положение по отношению к телу кимберлитовой трубки — кимберлит, ксенолит, вмещающие породы, представляют довольно пеструю картину. Их состав

можно рассматривать как результат наложения двух процессов — термической деструкции и деасфальтизации нефтей.

Приведенные теплофизические расчеты температуры прогрева вмещающих пород и длительности остывания тела кимберлитовой трубки позволяют предполагать в целом незначительную величину термической деструкции нафтидов как в ксенолитах, так и во вмещающих породах. Незначительная же степень термической деструкции нафтидов в приконтактной зоне еще не является доказательством их отсутствия в осадочных породах в момент внедрения кимберлитовой магмы. При этом мы допускаем более высокую степень термического воздействия кимберлитовой магмы на макроскопления нафтидов в зоне непосредственного контакта.

Полученные данные и анализ пространственно-временных соотношений зон генерации, транзита и аккумуляции УВ в верхнедокембрийских—нижнепалеозойских отложениях современных Вилуйской синеклизы и юго-восточного склона Анабарской антеклизы позволяют говорить о непрерывно-прерывистом характере миграции нефтей в осадочный чехол склона Анабарской антеклизы и в кимберлитовые трубки, начиная, по-видимому, с доверхнедевонской эпохи. Наиболее интенсивно процесс миграции здесь происходил с послепермской эпохи. Этот процесс может происходить и в настоящее время. Доказательство тому — кенелеканский природный источник нефти.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Брахфогель Ф.Ф.** Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1984, 128 с.
2. **Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.** Коренные месторождения алмазов мира. М., Недра, 1988, 555 с.
3. **Перспективы нефтегазоносности Восточно-Сибирской платформы** / В.Г. Васильев, В.С. Волхонин, И.П. Карасев и др. М., Недра, 1968, 329 с.
4. **Геология, гидрогеология и геохимия нефти и газа южного склона Анабарской антеклизы** / Е.И. Бодунов, В.Л. Белецкий, Г.С. Фрадкин и др. Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1986, 176 с.
5. **Успенский В.А.** Введение в геохимию нефти. Л., Недра, 1970, 312 с.
6. **Геохимия органического вещества нефтегазоносных отложений Западной Якутии** / Ред. Е.И. Бодунов. Новосибирск, Наука, 1984, 113 с.
7. **Конторович А.А., Каширцев В.А., Филп Р.П.** Биогопаны в отложениях докембрия северо-востока Сибирской платформы // Докл. РАН, 1995, т. 345, № 1, с. 106—110.
8. **Зуева И.Н., Уткина Н.А., Бодунов Е.И.** Химическая структура нафтидов Далдыно-Алакитского района (по данным ИК- и УФ-спектроскопии) // Геология и геохимия нефтеносных и угленосных районов Якутии. Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1987, с. 99—110.
9. **Гольдберг И.С., Макаров К.К.** Основные этапы и стадии миграции нефти в Тунгусской синеклизе и Анабарской антеклизе (Сибирская платформа) // Геология и геофизика, 1966, № 3, с. 3—19.
10. **Tissot B., Deroo G. and Hood A.** Geochemical study of the Uinta Basin: formation of petroleum from the Green River formation // Geochim. Cosmochim. Acta, 1978, v. 42, p. 1469—1485.
11. **Костровицкий С.И.** Физические условия, гидравлика и кинематика заполнения кимберлитовых трубок. Новосибирск, Наука, 1976, 95 с.
12. **Шкодзинский В.С.** Происхождение кимберлитов и алмаза. Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1995, 168 с.
13. **Ковальский В.В., Изосимова А.Н., Сафронов А.Ф. и др.** О битумопроявлениях в кимберлитовой трубке Удачная // Литология и геохимия нефтегазоносных толщ Сибирской платформы. М., Наука, 1981, с. 213—217.
14. **Дёч Г.** Руководство к практическому применению преобразования Лапласа. М., Наука, 1965, 288 с.
15. **Карслоу Г., Егер Д.** Теплопроводность твердых тел. М., Наука, 1964, 488 с.

*Рекомендована к печати 22 ноября 2002 г.  
А.Э. Конторовичем*

*Поступила в редакцию  
20 ноября 2002 г.*