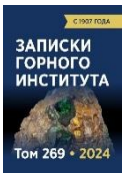
ISSN 2411-3336; e-ISSN 2541-9404

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА

Journal of Mining Institute

Сайт журнала: pmi.spmi.ru



Обзорная статья

Элементы платиновой группы как геохимические индикаторы при изучении полигенеза нефти

И.В.Таловина, Р.К.Илалова✉, И.А.Бабенко

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

***Как цитировать эту статью*:** Таловина И.В., Илалова Р.К., Бабенко И.А. Элементы платиновой группы как геохимические индикаторы при изучении полигенеза нефти // Записки Горного института. 2024. Т. 269. С. 833-847. EDN UYYBSB

Аннотация. На примере элементов платиновой группы (ЭПГ), главным образом платины и палладия, показана их информативность как геохимических индикаторов при изучении полигенеза нефти. Установлено, что подобно другим химическим элементам (никелю, ванадию, кобальту и пр.) элементы платиновой группы и золото наряду с фоновыми концентрациями в отдельных месторождениях нефти могут содержаться в повышенных и даже аномально высоких количествах. Цель исследования – изучение ЭПГ и элементов-примесей как геохимических индикаторов для определения геологических причин, в том числе эндогенных факторов, образования аномально высоких их концентраций в нефтях, а также анализа полигенеза нефтей. Выполнен большой аналитический обзор литературы по данной тематике. Получены новые данные по содержанию благородных металлов в составе нефтей России и мира. Проведен анализ геологических причин образования высоких и аномально высоких концентраций ЭПГ в нефтях. Для определения содержаний ЭПГ в нефтях использован метод атомной абсорбции с атомизацией в графитовой печи HGA-500. Предварительно для отделения благородных металлов от сопутствующих элементов применен метод соосаждения на теллуре (ISO 10478:1994). Определены возможные геологические причины образования аномально высоких концентраций платиновых металлов в нефтях, в том числе такие эндогенные факторы, как пространственная близость нефтяных месторождений к массивам ультраосновных пород, воздействие контактово-метасоматического процесса, влияние мантийного фактора. Кроме того, данные по мантийным элементам дают возможность рассматривать их в качестве индикаторов глубинности происхождения части углеводородных флюидов в вопросе изучения полигенеза нефти.

***Ключевые слова*:** геохимические индикаторы; элементы платиновой группы; золото; серебро; нефтегазоносные провинции; полигенез нефти; рифтогенез

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания FSRW-2024-0008 «Исследование термодинамических процессов Земли с позиции генезиса углеводородов на больших глубинах».

Поступила: 03.05.2024 ***Принята: 05.09.2024*** ***Онлайн: 18.10.2024*** ***Опубликована: 12.11.2024***

Введение. В 1996 г. профессором Санкт-Петербургского горного университета В.Г.Лазаренковым одним из первых в мировой литературе получены данные по содержанию платиновых металлов и золота в образцах ближневосточной нефти из месторождений Джбисса и Омар района Дейр-эз-Зор, расположенного на востоке Сирии [1]. В соответствии с полученными данными в нефтяной золе изученных месторождений отмечены 4,1 г/т платины, 5,9 г/т палладия, 1,6 г/т золота; в сырой нефти – 40 мг/т платины, 50 мг/т палладия, 14 мг/т золота. Содержания элементов платиновой группы (ЭПГ) в золе изученных образцов нефти более чем соответствовали промышленным кондициям руд на платиновые металлы [2].

Одновременно российскими исследователями [3] с помощью геоэлектрохимических методов установлено наличие в земной коре неизвестного ранее явления. Около нефтяных залежей было зафиксировано развитие направленных близвертикально наложенных «струйных» ореолов рассеяния подвижных форм нахождения химических элементов, в том числе тяжелых металлов. С изучением электроподвижных форм химических элементов методом частичного извлечения металлов,

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

а также слабозакрепленных и сорбированных форм химических элементов методом диффузионного извлечения, показано, что степень накопления ЭПГ и золота в нефтях выше, чем других тяжелых металлов [4]. Помимо благородных металлов в нефтях разными исследователями обнаружено около 50 микрокомпонентов, представляющих интерес. Так, например, по ориентировочной оценке, в 1 млрд т тяжелых нефтей содержится порядка 100 т свинца, галлия, рубидия, ртути, таллия, селена, мышьяка, 1 тыс. т никеля, йода, брома, калия, более 10 тыс. т ванадия, несколько тонн серебра, сотни килограммов золота. Кроме того, появились данные о содержании в нефтях рения [5].

Сведения о содержании и распределении ЭПГ в нефтях в отечественной и зарубежной печати остаются крайне малочисленными. Высокие содержания ЭПГ в образцах нефти из Сирии, Оренбургской обл. [6] и отдельных месторождений Северного моря [7] делают особенно актуальным вопрос об изучении платиновых металлов в нефтяных месторождениях России, а именно – среднего содержания ЭПГ и установление уровня их концентрации, характера и геохимических особенностей распределения в нефтях. Сказанное обуславливает важность постановки ряда практических задач: установить прогноз ресурсов ЭПГ с целью возможного последующего извлечения платиноидов; выявить причины появления нефтяных месторождений с повышенным содержанием ЭПГ для возможного использования мантийных элементов как индикаторов глубинности происхождения части углеводородных флюидов. Мировая промышленность, потребляя все большее количество энергии [8], увеличивает спрос на многие металлы, необходимые для развития материальной базы возобновляемой энергетики [9], в том числе на металлы платиновой группы. Это делает их изучение в нефтях еще более актуальным.

Основная цель исследования – изучение ЭПГ как геохимических индикаторов для определения геологических причин образования аномально высоких их концентраций в нефтях, в том числе эндогенных факторов, а также анализа полигенеза нефтей. Для достижения цели выполнен достаточно большой аналитический обзор литературы по данной тематике, получены собственные данные по содержанию ЭПГ и элементов-примесей в составе нефтей России и мира, а также определены возможные геологические причины образования аномально высоких концентраций ЭПГ и золота в нефтях.

Материалы и методы. Определены содержания ЭПГ и элементов-примесей в нефтях Калининградской (Калининградская обл.) и Сургутской (Западная Сибирь) групп месторождений, Ромашкинского (Республика Татарстан), нефтегазоконденсатного Юрубченского (Восточная Сибирь) и Ярегского (Республика Коми) месторождений России, а также двух раннее изученных месторождений Сирии (Джбисса, Омар). Предварительные исследования по нефтяным месторождениям Сирии района Дейр-эз-Зор [1] показали, что содержания ЭПГ в тяжелых нефтях более представительны, чем в легких. Поэтому нами для аналитических исследований отобраны также образцы высоковязкой нефти из вышеприведенных месторождений.

Лабораторные исследования на ЭПГ проводились в региональном аналитическом центре «Механобр инжиниринг аналит» (Санкт-Петербург). Положив в основу методики определения известные методы анализа, применяемые для геологических материалов с низким содержанием, авторы использовали методику пробоподготовки, подробно изложенную в работе [10]. Все материалы были проанализированы из навесок не менее 40 г. После пробоподготовки оставался зольный остаток большой массы. Озоление нефти из навески проводилось тремя способами с добавлением окислителей. Сухой остаток (зола) растворялся в кислотах. Для обогащения использовалось пробирное концентрирование свинцом по методу неполного купелирования. Для отделения благородных металлов от сопутствующих элементов применялся известный метод соосаждения на теллуре (ISO 10478:1994). В качестве конечного определения использован метод атомной абсорбции с атомизацией в графитовой печи HGA-500. Измерения проводились на атомно-абсорбционном спектрофотометре модели 603 фирмы Perkin-Elmer. Электронно-микроскопические исследования препаратов базальтоидов и пироксеновых долеритов проводились в лаборатории Технического университета Фрайбергской горной академии (Германия), на РЭМ JEOL JSM 6400 с энергодисперсивной приставкой Explorer фирмы Noran. Условия съемки: ускоряющее напряжение 15 кВ, импульсное разрешение 0,89 кГц.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2024. Т. 269. С. 833-847
© И.В.Таловина, Р.К.Илалова, И.А.Бабенко, 2024



Рис.1. Нефтегазоносные провинции и приуроченные к ним нефтяные месторождения. Масштаб 1 : 15 000 000. Номера месторождений соответствуют номерам в таблице

Обсуждение результатов. Авторами получены новые данные о содержании ЭПГ в нефтях Калининградской и Сургутской групп месторождений, Ромашкинского, Юрубченского и Ярегского месторождений России, месторождений Сирии (Джбисса, Омар) и Польши (Горжица-2, Горжица-7, Мозов-1, Бабимост-1, Каргова-6, Чартов-6, Цичри-6, Бук-1). В качестве дополнительных данных использованы результаты работ сторонних исследователей по нефтяным месторождениям Западной Сибири [11], Оренбургской обл. [6], Польши [12], Великобритании [7], Канады [13] и Китая [14]. Все изученные нефтяные месторождения России распределены по нефтегазоносным провинциям (рис.1). Средние содержания ЭПГ и элементов-примесей в нефтях месторождений России и мира сведены в таблицу.

С позиций металлогенического районирования нефтегазоносных провинций [15] группа Калининградских и Юрубченское месторождения попадают в зоны распространения нефтей цинкового типа, группа Сургутских месторождений – никелевого типа, Ромашкинское и Ярегское – ванадиевого типа с повышенным содержанием серы. Таким образом, нефти проанализированных нами месторождений охватывают все типы металлогенических районов нефтегазоносных провинций России.

Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет сделать следующие предварительные выводы:

• Сырая нефть Сибири (№ 2-4, 6-12), Западной Канады (№ 36-42) и Китая (№ 43) характеризуется низкими содержаниями платины 0,05-5,0 мг/т. При этом содержание палладия в нефтях этих месторождений оказывается выше 1,3-16,4 мг/т.

• Нефть Волго-Уральской (№ 13-21) и Месопотамской НГП (№ 44-46) обогащена элементами платиновой группы с содержаниями Pt 0,4-102 мг/т и Pd 3-70 мг/т.

• Аномально высокие содержания Pt 319,8 мг/т отмечаются на месторождении Даунтлесс (№ 22) в Северном море. При этом нефть большинства месторождений (№ 23-24, 26-28 и 30-35) этой НГП характеризуется низкими значениями содержания Pt 0,59-4,5 мг/т и очень низкими содержаниями Pd по сравнению с нефтью других рассматриваемых провинций [7].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© И.В.Таловина, Р.К.Илалова, И.А.Бабенко, 2024

Средние содержания ЭПГ и других элементов-примесей в нефтях месторождений России и мира, мг/т

НГП/ НГО	Месторождение, участок, скважина	Pt	Pd	Ru	Rh	Ir	Os	∑ЭПГ	Au	Ag	Ni	V	Co	Pb	Re
Балтийская (Россия)	1. Калининградское	4	1	–	–	–	–	5	1,2	–	–	–	–	–	–
Лено-Тунгусская	2. Юрубченское	0,21	2,0	–	–	–	–	–	3	–	–	–	–	–	–
	3. Северо-Даниловское (скв. 6567)	0,13	6,9	5,5	0,3	0,03	0,04	12,86	0,2	53,7	1570	12110	13	41,9	0,02
	4. Даниловское (скв. 2459)	0,13	3,8	5,9	0,3	0,002	0,06	10,13	0,12	42,9	4290	6890	17	41,4	1,2
	Среднее	0,16	4,23	5,7	0,3	0,02	0,05	11,5	1,11	48,3	2930	9500	15	41,65	0,61
Тимано-Печорская	5. Ярегское	0,58	7,6	5,4	–	–	–	13,58	0,35	–	47000	80000	–	–	–
Западно-Сибирская	6. Сургутские	0,73	7,0	5,0	–	–	–	12,73	0,65	–	–	–	–	–	–
	7. Дорожное (скв. 1746)	0,05	1,3	5,9	0,29	0,006	0,04	7,5	0,11	79,1	1690	8530	15	30,2	0,03
	8. Усть-Тетеревское (скв. 1856)	0,12	1,6	5,6	0,3	0,009	0,05	7,63	0,13	44,9	1580	6490	15	45,8	0,02
	9. Убинское (скв. 1236)	0,33	2,2	5,1	0,7	0,006	0,02	8,34	0,19	147,5	1640	6800	15	304,6	0,008
	10. Ловинское (скв. 9556)	0,17	1,3	5,4	0,4	0,004	0,04	7,27	0,12	14,1	1710	6100	13	64,2	0,28
	11. Восточно-Придорожное (скв. 402/2)	0,94	10,6	3,3	0,3	0,37	0,06	15,51	0,39	4,2	10110	10450	12	140,1	5,64
	12. Кустовое (скв. 1182/26)	1,19	16,4	5,8	0,2	0,27	0,05	23,86	0,02	3	4580	11630	0,7	103,6	2,72
	Среднее	0,5	5,8	5,2	0,4	0,1	0,04	11,8	0,2	48,8	3551	8333	11,8	114,8	1,45
Волго-Уральская	13. Ромашкинское	5,2	7	4,1	–	–	–	>16,3	2,7	–	–	–	–	–	–
	14. Донецко-Сыртовское	0,4	–	–	–	–	–	–	0,4	–	–	–	–	–	–
	15. Росташинское	17	3,3	–	–	–	–	>20,3	2,6	0,1	4,6	–	3,3	–	–
	16. Тананыкское	102	9	–	–	–	–	>111	29	68	80	–	51	–	–
	17. Гаршинское	56	27	–	–	–	–	>83	140	–	8,6	–	36	–	–
	18. Покровское	24	14	–	–	–	–	>38	25	–	12	–	5	–	–
	19. Пронькинское	3	3	–	–	–	–	>6	8	–	6,9	–	1	–	–
	20. Долговское	71	10	–	–	–	–	>81	14	–	19,4	–	4	–	–
	21. Сахаровское	2	3	–	–	–	–	>5	2	0,1	4,6	–	3	–	–
	Среднее	31,2	9,5	–	–	–	–	45,1	24,9	22,7	19,4	–	14,8	–	–
Североморская	22. Даунтлесс	319,8	0,14	–	–	0,31	–	>320,25	–	–	–	–	–	–	1,52
	23. Экофиск	1,33	0,13	–	–	0,02	–	>1,77	–	–	–	–	–	–	0,66
	24. Запад Шетланда	1,38	0,03	–	–	0,01	–	>1,42	–	–	–	–	–	–	2,07
	25. Аббот	15,72	–	–	–	0,01	–	>15,73	–	–	–	–	–	–	1,38
	26. Скотт	1,45	–	–	–	–	–	>1,45	–	–	–	–	–	–	1,06

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2024. Т. 269. С. 833-847
© И.В.Таловина, Р.К.Илалова, И.А.Бабенко, 2024

Окончание таблицы

НГП/ НГО	Месторождение, участок, скважина	Pt	Pd	Ru	Rh	Ir	Os	∑ЭПГ	Au	Ag	Ni	V	Co	Pb	Re
Североморская	27. Мармион	0,59	–	–	–	–	–	>0,59	–	–	–	–	–	–	0,94
	28. Ханнэй	1,05	–	–	–	–	–	>1,05	–	–	–	–	–	–	1,08
	29. Телфорд	8,35	0,28	–	–	0,31	–	>8,94	–	–	–	–	–	–	1,06
	30. Шеилхалион	0,97	0,13	–	–	0,02	–	>1,12	–	–	–	–	–	–	0,91
	31. Гудзон	1,38	0,07	–	–	–	–	>1,45	–	–	–	–	–	–	2,4
	32. Мобил	1,1	0,06	–	–	–	–	>1,16	–	–	–	–	–	–	–
	33. Клер	4,5	9,5	–	–	–	1,17	>15,17	–	–	–	–	–	–	190,8
	34. Миллер	3,5	7,6	–	–	–	1,16	>12,26	–	–	–	–	–	–	80,6
	35. Фойнавен	3,2	8,3	–	–	–	0,06	>11,56	–	–	–	–	–	–	1,19
	Среднее	26,02	2,62	–	–	0,11	0,80	28,13	–	–	–	–	–	–	22,0
Западно-Канадская	36. Атабаска	1,46	1,02	–	–	–	0,09	>2,57	–	–	–	–	–	–	16,77
	37. Колд Лэйк	1,95	2,49	–	–	–	0,21	>4,65	–	–	–	–	–	–	36,58
	38. Гросмонт	2,00	3,04	–	–	–	0,15	>5,19	–	–	–	–	–	–	26,13
	39. Ллойдминстер	4,53	3	–	–	–	0,14	>7,67	–	–	–	–	–	–	23,47
	40. Пис Ривер	2,45	2,8	–	–	–	0,06	>5,31	–	–	–	–	–	–	12,47
	41. Провост	0,64	3,84	–	–	–	0,048	>4,53	–	–	–	–	–	–	3,19
	42. Вабаска	1,84	2,65	–	–	–	0,18	>4,67	–	–	–	–	–	–	31,55
	Среднее	2,12	2,69	–	–	–	0,13	>4,94	–	–	–	–	–	–	21,45
Бохайвань	43. Шенгли-Чанше	1,29	2,65	0,09	0,07	0,03	–	4,14	–	–	–	–	–	–	–
Месопотамская	44. Джбисса-2	90	70	<1	<0,7	–	–	160	12	–	20	94	–	–	–
	45. Омар-111	<10	50	<1	<0,7	–	–	50	<10	–	0,3	3,2	–	–	–
	46. Омар-137	30	30	<1	<0,7	–	–	60	30	–	0,4	2,0	–	–	–
	Среднее	43,3	50	<1	<0,7	–	–	90	17,3	–	6,9	33,1	–	–	–
Балтийская (Польша)	47. Горжица-2	5	5	–	–	–	–	10	5	9	240	340	11	5	–
	48. Горжица-7	5	5	–	–	–	–	10	5	13	230	190	10	5	–
	49. Мозов-1	5	5	–	–	–	–	10	490	5	290	490	34	5	–
	50. Бабимост-1	5	5	–	–	–	–	10	320	10	500	15	51	5	–
	51. Каргова-6	5	5	–	–	–	–	10	40	5	120	12	4	5	–
	52. Чартов-6	5	5	–	–	–	–	10	170	6	210	91	11	5	–
	53. Цичри-6	5	5	–	–	–	–	10	5	2	60	3	3	5	–
	54. Бук-1	5	5	–	–	–	–	10	67	3	110	4	5	5	–
	Среднее	5	5	–	–	–	–	10	137,8	6,6	220	143,1	16,1	5	–

Примечание. Данные 1, 2, 5, 6, 13, 44-54 по материалам авторов; 3, 4, 7-12 по [11]; 14-21 по [6]; 22-32 по [7]; 33-42 по [13]; 43 по [14].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

• Содержания платины и палладия в нефти большинства рассматриваемых в работе НГП оказываются выше, чем кларковые содержания этих элементов в континентальной коре и осадочных породах в целом, где они соответствуют 0,4 мг/т для Pd и 0,4 мг/т для Pt [16].

• В нефтях всех рассматриваемых месторождений Западной Сибири содержания Pd превосходят содержания Pt как минимум на порядок, в то время как в нефтях Волго-Уральской и Североморской НГП наблюдается, как правило, обратное соотношение. Нефти Западной Сибири отличаются очень высокими значениями концентраций Ni 1580-10110 мг/т и V 6100-11630 мг/т.

• По редким платиноидам имеются только ограниченные данные по рутению, родию, содержания которых, по-видимому, существенно уступают количеству Pd и Pt (Pd + Pt > Ru + Rh) в нефтях сирийских месторождений (№ 44-46), в то время как в нефтях Западной Сибири их содержания оказываются сопоставимыми. Каких-либо закономерностей в распределении Os и Ir не обнаружено.

• Отмечаются повышенные содержания рения Re в нефти Северного моря (№ 33 до 190,8 мг/т) и нефтяных песках Западной Канады (№ 37 до 36,58 мг/т) [13].

• По содержанию золота все значения в таблице можно разбить на две группы по степени концентрации: 0,02-14 мг/т и 25-490 мг/т. Цифры первой группы, очевидно, близки к фоновым содержаниям. Отметим, что кларк золота в континентальной коре и осадочных породах в целом 2,5 мг/т [16]. Цифры второй группы являются аномальными. В их пределы попадают содержания золота в нефтях некоторых оренбургских (25-140 мг/т) и сирийских (до 30 мг/т) месторождений. Особенно велико количество золота в польских месторождениях Мозов (№ 49) 490 мг/т и Бабимост (№ 50) 320 мг/т. Последние обладают очень высокими величинами кларков концентрации по сравнению с кларком золота в континентальной коре.

• Нефть западносибирских и польских месторождений отличается повышенным содержаниями серебра. При этом размах содержания серебра в нефти Западной Сибири составляет два порядка (3-147,5 мг/т), а нефть польских месторождений характеризуется достаточно равномерным (2-13 мг/т) распределением этого металла. Содержание серебра в нефти большинства месторождений Западной Сибири превышают его кларк 70 мг/т в континентальной коре и осадочных породах в целом [16].

Таким образом, фоновые концентрации благородных металлов в нефтях на порядок или два порядка выше по сравнению с кларками в континентальной коре и осадочных породах в нефтях большинства рассматриваемых в статье месторождений. В этом отношении нефти не отличаются от других богатых углеродом осадочных пород (черных сланцев и других высокоуглеродистых пород), для которых также характерны повышенные содержания платиновых металлов и золота. Наряду с фоновыми концентрациями в отдельных нефтяных месторождениях платиновые металлы и золото обладают высокими и даже аномально высокими содержаниями, подобно марганцу, никелю и другим элементам-примесям.

В целом анализ содержаний платиновых металлов и золота, взятых из нефтяных полей различных месторождений, показал также наличие определенной геохимической специфики месторождений, в частности обогащение сирийских и оренбургских месторождений платиноидами, польских – золотом, а западно-сибирских – серебром. Из данных таблицы видно, что в нефтях Оренбуржья высокие содержания ЭПГ сопровождаются высокими содержаниями Au и Ag (№ 13-21), в нефтях Западной Сибири очевидна связь между содержаниями ЭПГ, Co, Ni и V. Эта связь прослеживается и по неполным данным с месторождений Оренбургской обл. и Польши (№ 47-54). Для ванадия устанавливается отчетливая связь с серой [5]. Подобно другим химическим элементам (Ni, V, Co и пр.), ЭПГ и Au наряду с фоновыми концентрациями в отдельных месторождениях могут содержаться в повышенных и даже аномально высоких количествах. Данный факт достаточно хорошо прослеживается на месторождениях района Дейр-эз-Зор (Сирия), Мозов, Бабимост (Польша), Тананыкское (Оренбургская обл.), Даунтлесс (Великобритания). В целях прогнозного подхода для выявления подобных нефтяных месторождений необходимо определить возможные геологические причины образования аномально высоких концентраций платиновых металлов и золота в нефтях:

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2024. Т. 269. С. 833-847
© И.В.Таловина, Р.К.Илалова, И.А.Бабенко, 2024

1. Влияние особенностей процесса осадконакопления, в ходе которого образовались горные породы будущего нефтяного резервуара с последующей ассимиляцией нефтями тяжелых металлов из вмещающих пород или минерализованных вод в процессе миграции и фильтрации нефтей. В частности, Au, Re, La, Sc, Cd, V хорошо экстрагируются нефтью из кислой и нейтральной сред [5, 17, 18]. Можно предположить, что пространственно-временная близость формирования польских и калининградских нефтей, а также черных сланцев может оказаться причиной повышенных концентраций (по сравнению с другими углеводородами) платиновых металлов и золота в нефтях [19].

2. Гипергенное окисление или осернение нефти, которое может вызывать вторичное обогащение микроэлементами, в частности ванадием. Поскольку высокосернистые нефти являются одновременно и высокованадиевыми [5].

3. Эпигенетичекие изменения нефтей в ходе погружения нефтяных залежей под влиянием факторов увеличения температуры и давления, а также возраста нефти. В связи с этим происходит обеднение элементами-примесями, связанными с удаляющимися летучими компонентами, и обогащение элементами, накапливающимися в остающейся фазе. По этой причине более глубокозалегающие нефти отличаются и более повышенным содержанием ванадия и никеля.

4. Пространственная близость к нефтяным месторождениям массивов ультраосновных пород, обогащенных ЭПГ [20].

5. Влияние контактово-метасоматических процессов, которые развиваются при внедрении интрузий в нефтегазоносные осадочные комплексы и оказывают на них сильное тепловое и химическое воздействие [21, 22]. В приконтактовой части интрузий органическое вещество разрушается под воздействием высоких температур, однако в удаленных от контакта зонах тепловой поток интрузии может способствовать процессу вызревания углеводородов [23].

6. Влияние мантийного фактора. Перенос Pt и Au в виде элементоорганических соединений по тектонически ослабленным зонам [24, 25] с дальнейшим выпадением металлов в самородных формах при окислении восстановленного флюида до H_2O и CO_2.

Рассмотрим подробнее эндогенные факторы (пункты 4-6) образования аномально высоких концентраций платиновых металлов и золота в нефтях, поскольку именно они важны нам для понимания возможности абиогенного синтеза отдельных углеводородов.

Фактор пространственной близости к нефтяным месторождениям массивов ультраосновных пород детально описан в работах Г.А.Пономаревой с соавторами [20], которые при изучении региональных закономерностей распределения платиноидов в нефтях Оренбургской обл. подразделяют ее западную часть на две платиносодержащие нефтяные зоны – западную (Бузулукская впадина и южный склон Татарского свода) и восточную (Восточно-Оренбургское сводовое поднятие, Соль-Илецкий свод и северный борт Прикаспийской впадины). По данным [20], границей зон оказалась крайне резкая ступень в содержаниях платины, которые к западу от нее более чем в три раза выше, чем в восточной части. В западной части установлены повышенные содержания Pd, Au и Ag. Распределение Pt и Pd в нефтях носит ультрамафитовый характер (в среднем Pt 18 мг/т, Pd 8 мг/т, Pt/Pd 2,2). Изоконцентраты на приведенных схемах повторяют границы структурно-тектонических элементов и нефтегазогеологических районов, часто образуя ступени на их границах. Повышенные содержания благородных металлов, как правило, пространственно совпадают с выходами ультраосновных пород перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации в кристаллическом фундаменте, существование которых доказано глубоким бурением со вскрытием фундамента [20].

В работе [26] показано, что Au и Pt переносятся в виде элементоорганических соединений по разломам и выпадают в самородных формах C, Au и Pt при окислении восстановленного флюида до H_2O и CO_2. Подобная миграция Au и Pt выражается в процессах гидратации и карбонатизации ультрабазитов. Данные процессы, в свою очередь, могут быть объяснены наличием в верхней мантии смеси тяжелых углеводородов и неорганических соединений (CO_2, H_2O, N_2 и др). Последние, поднимаясь по глубинным разломам, производят карбонатизацию и серпентинизацию свежих гарцбургитов. Этими же авторами показано, что при увеличении степени серпентинизации растет и количество углерода и углеводородных соединений. Интересный пример – наличие углеродизированных зон, развитых в серпентинизированных зальбандах древних офиолитов Восточного

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© И.В.Таловина, Р.К.Илалова, И.А.Бабенко, 2024

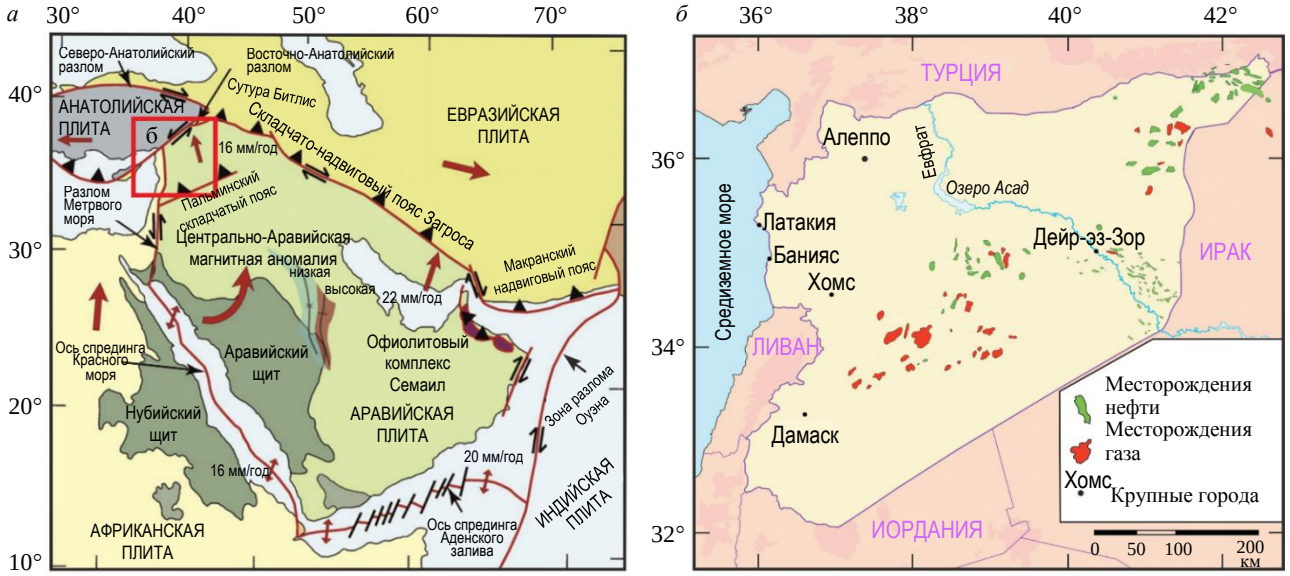


Рис.2. Тектоническая карта Аравийской плиты (*а*); нефтяные месторождения района Дейр-эз-Зор, Сирия [27] (*б*)

Саяна, которые богаты разнообразными органическими соединениями, благородными металлами и рудными минералами (графит, алмаз, муассанит, самородные платина, палладий, золото, осмий, железо, серебро, свинец, магнетит, хромшпинелид, ильменит, рутил, циркон и др.). Изотопный состав углеродизированных гипербазитов близок к изотопному составу алмазов, что может являться важным аргументом в вопросе эндогенного генезиса углеводородов [28].

Фактор влияния контактово-метасоматических процессов на образование аномально высоких концентраций платиновых металлов и золота в нефтях можно рассмотреть на примере сирийских месторождений района Дейр-эз-Зор, которые являются типичными нефтяными месторождениями Ближнего Востока (рис.2). В тектоническом плане Сирия расположена в северо-западной части Аравийской плиты, в пределах которой развиты многочисленные древние и современные тектонические дислокации, формирующиеся в результате сложного взаимодействия Аравийской, Африканской и Евразийской плит, а также складчато-надвиговых поясов Загрос и Пальмира [29]. Важной особенностью геологического строения района Дейр-эз-Зор является связь формирования сирийских месторождений с трапповым и щелочно-магматическим процессами, протекавшими и протекающими здесь в рамках формирования позднемезозойских и кайнозойских рифтогенных структур Евфратского грабена. Пространственная связь нефтегазоносных и щелочных провинций известна давно еще со времен Р.Дэли, но причины этой связи ранее не анализировались. По-видимому, нефтегазоносные и щелочные провинции являются продуктами процесса, протекающего в рифтогеннных зонах, и одновременно маркерами этих зон. Пример сопряженности подобных провинций – Западно-Африканская зона периокеанических рифтов [30] и Западно-Африканская щелочная провинция [1]. Траппы и щелочные базальтоиды района Дейр-эз-Зор Евфратского рифта – очередной пример такого, на первый взгляд, необычного парагенезиса.

Рассмотрим взаимоотношения магматического процесса и процесса нефтеобразования на примере месторождений района Дейр-эз-Зор. Поверхностные базальтоиды Сирии достаточно хорошо изучены и описаны в ряде работ, в частности Е.В.Шаркова с сотрудниками (1994). Данные об эффузивных породах глубинных горизонтов мощного осадочного чехла, вмещающего нефтяные месторождения этой страны, приведены в работе [27] на примере месторождений района Дейр-эз-Зор по результатам нефтяного бурения до глубины 4300 м. Район Дейр-эз-Зор, включающий месторождения Омар, Изба, Тайем, расположен на востоке Сирии в пределах Евфратского грабена. Он сложен толщей осадочных пород мощностью 7-8 км, залегающей на гранито-гнейсовом докембрийском фундаменте Аравийской плиты (рис.2). Возраст толщи изменяется от раннепалеозойского в ее основании до четвертичного вблизи поверхности. Стратиграфическое подразделение осадочных пород и базальтоидов глубинных горизонтов

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2024. Т. 269. С. 833-847
© И.В.Таловина, Р.К.Илалова, И.А.Бабенко, 2024

в районе Дейр-эз-Зор приведено на рис.3. В общем разрезе осадочной толщи магматические, главным образом эффузивные, горные породы отчетливо маркируют четыре стратиграфических уровня (снизу вверх):

• Нормальные базальты и долеритовые силлы, залегающие в породах формации Мулусса Ф позднетриасового возраста.

• Умеренно-щелочные базальтоиды раннемелового возраста (муджиериты, тешениты, трахидолериты), располагающиеся в подошве формации Рутба.

• Выветрелые до красных глин основные эффузивные породы и их туфы формации Дерро позднемелового возраста.

• Поверхностные базальтоиды (базальты, меланократовые базальты, щелочные базальты, нефелиновые базальты) позднекайнозойского возраста, слагающие небольшие поля в окрестностях месторождения Дейр-эз-Зор.

Эти образования аналогичны породам ареала позднекайнозойского миоцен-голоценового вулканизма (20,9-0,3 млн лет), описанным Е.В.Шарковым для Западной Сирии. Мощности интервалов эффузивных пород в скважинах обычно составляют десятки метров, варьируя в диапазоне 14-83 м, и соответствуют одному-трем перекрывающимся покровам и потокам. Мощность долеритовых силлов изменяется от 14 до 95 м.

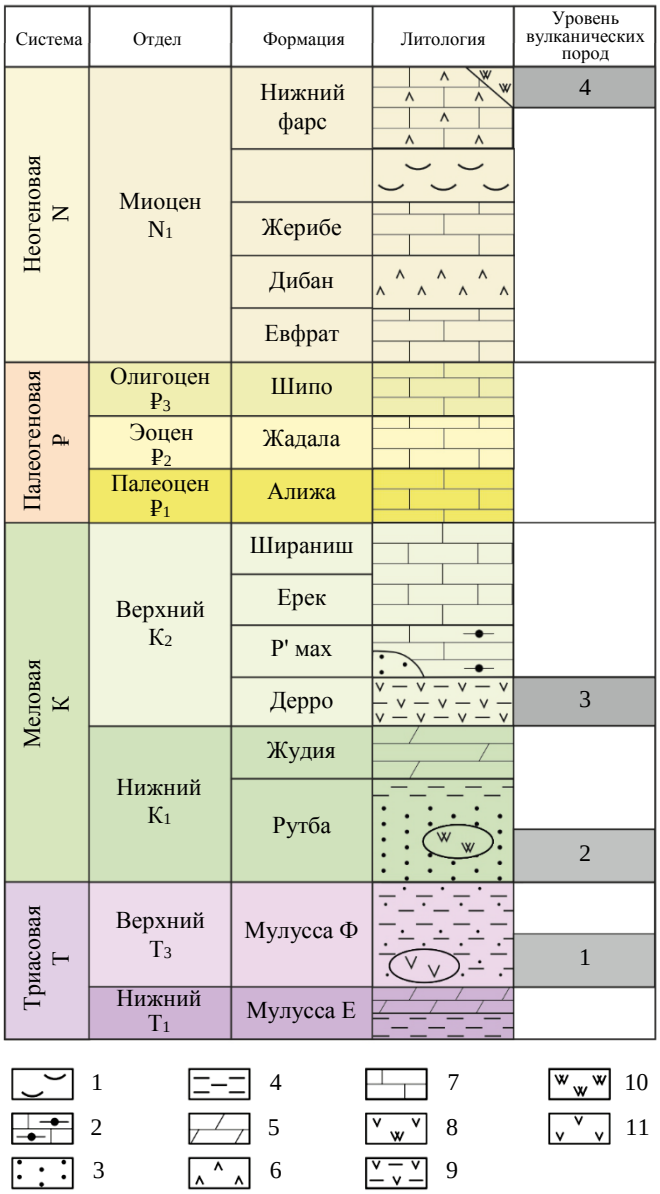


Рис.3. Уровни нахождения вулканических пород в стратиграфическом разрезе месторождений района Дейр-эз-Зор, Сирия [1]

1 – соль; 2 – известняк с включениями кремния; 3 – песок, песчаник; 4 – глина; 5 – доломит; 6 – ангидрит; 7 – известняк; 8 – базальт; 9 – выветренный базальт; 10 – щелочные базальтоиды; 11 – базальт трапповой формации

Субвулканические породы района Дейр-эз-Зор можно отнести к двум магматическим ассоциациям – верхнетриасовой базальтовой (трапповой) и мел-кайнозойской щелочно-базальтовой. Возрастная петрохимическая направленность развития платформенного базальтоидного магматизма анализируемого района Евфратского рифта выражалась в эволюции от нормальных базальтов в триасе до щелочных базальтоидов в четвертичном периоде. Геохимическая эволюция проявлялась в увеличении содержания редких щелочей, в первую очередь рубидия, радиоактивных элементов – урана и тория, а также других элементов, в частности циркония и стронция [1].

По ряду косвенных признаков возраст нефтей в месторождениях района Дейр-эз-Зор можно считать меловым. Следовательно, в отношении процесса нефтеобразования одни базальтоиды данного района являются донефтяными, а другие – посленефтяными. К донефтяным, очевидно, принадлежат нижнемеловые щелочные базальтоиды формации Рутба и верхнемеловые выветрелые эффузивы формации Дерро; к посленефтяным – долеритовые силлы палеогенового возраста и поверхностные позднекайнозойские щелочные базальтоиды. Первая группа базальтоидов во взаимоотношении с нефтяными горизонтами Дейр-эз-Зор, по-видимому, играла пассивную роль экранов. Вторая группа базальтоидов, особенно долеритовые силлы, очевидно, оказывала на нефтяные пласты и вмещающие породы активное тепловое воздействие.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

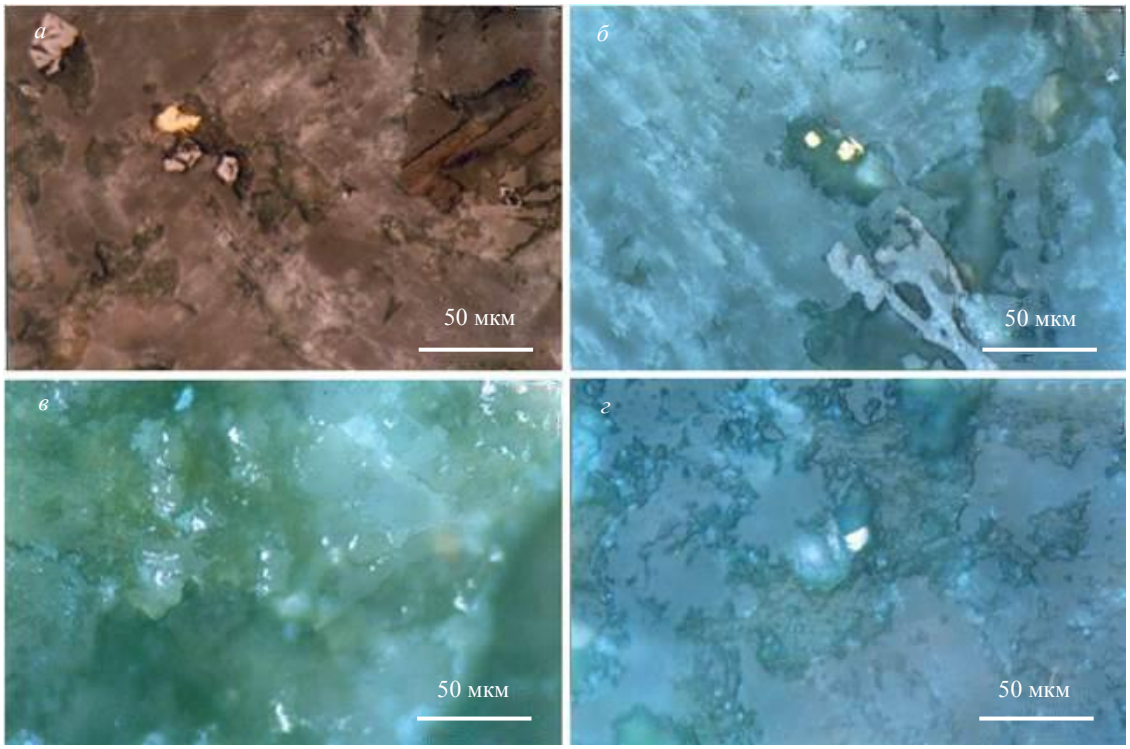


Рис.4. Зерна платиновых металлов и золота в базальтоидах глубоких горизонтов сирийских нефтяных месторождений: *а* – муджиерит: зерна золота (20 мкм) и титаномагнетита (серое) в полевом шпате, замещаемые сфеном; наблюдается коричневая пластина биотита, перламутровая карбоната (Омар, 3679 м, ×500, отраженный свет, николи параллельны); *б* – пироксеновый долерит: два зерна золота (0,008-0,010 мм) в пелитизированном плагиоклазе (Омар, 4085,95 м, ×500, отраженный свет, николи параллельны); *в* – пироксеновый долерит: россыпь зерен платиноида в хлорите и плагиоклазе (Омар, 4085,95 м, ×500, отраженный свет, николи параллельны; *г* – пироксеновый долерит: зерно платиноида в хлорите по плагиоклазу (Омар, 4085,95 м, ×500, отраженный свет, николи параллельны)

Анализ контактовых взаимоотношений интервалов долеритовых силлов и нефтяных горизонтов на месторождении Омар показал, что почти во всех скважинах долериты непосредственно контактировали с этими горизонтами. Кроме того, изучение пород экзоконтактовой зоны под оптическим микроскопом показало, что они представлены часто не обычными осадочными или эффузивными породами, а цеолит-хлорит-альбит-карбонатными метасоматитами по ним, т.е. горными породами, испытавшими процесс метасоматоза (рис.4).

Микроскопическое изучение осадочных пород по скважинам месторождений Изба, Омар показало повсеместное развитие данного процесса, в том числе по базальтоидам и долеритам. Можно сделать вывод, что обширная метасоматическая переработка осадочных пород нефтяного резервуара, а также подстилающих и перекрывающих пород связана с контактово-метасоматическим процессом. Наиболее реальной причиной этого метасоматоза, с нашей точки зрения, является контактовое воздействие базальтоидов на вмещающие их породы, в том числе на более ранние силлы базальтоидов. Горячие долеритовые силлы и базальтоидные дайки, служившие подводящими каналами при образовании полей эффузивных базальтоидов позднекайнозойского возраста, по-видимому, оказывали на нефть сильное тепловое воздействие. По данным прямых измерений, температура [31] базальтовых расплавов колеблется от 1450 до 1500 °С. Петростатическое давление в нефтяном резервуаре при мощности кровли 1,0-4,3 км и самого резервуара варьировало от 0,25 до 1,2 кбар. Судя по области устойчивости цеолит-хлорит-альбитового парагенезиса, термодинамические условия контактово-метасоматического процесса соответствовали условиям пропилитовой фации. При образовании пропилитов термодинамические условия соответствуют диапазонам температур 150-300 °С и давлений 0,3-2,0 кбар. Очевидно, похожими термодинамическими параметрами характеризовалась и метасоматическая переработка осадочной и эффузивной толщи нефтяного резервуара месторождений района Дейр-эз-Зор. Если предположить, что нефтяные пласты

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2024. Т. 269. С. 833-847
© И.В.Таловина, Р.К.Илалова, И.А.Бабенко, 2024

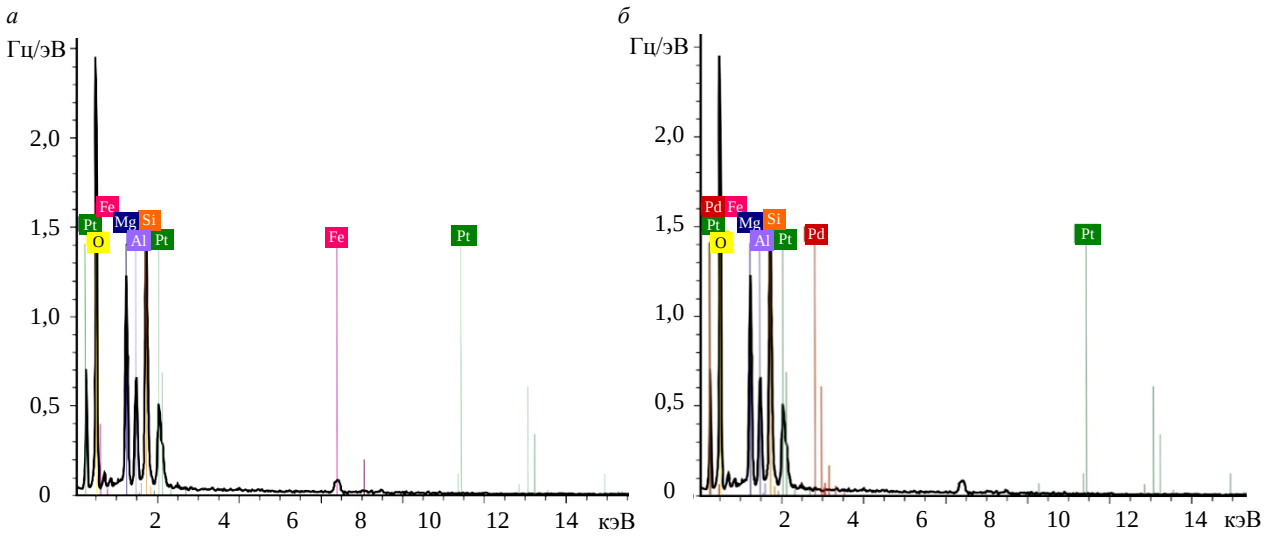


Рис.5. Качественный состав зерна МПГ существенно платинового состава по данным растровой электронной микроскопии в базальтоиде (Омар, 4085,95 м) (*а*); платино-палладиевого состава по данным растровой электронной микроскопии в пироксеновом долерите (Омар, 3679 м) (*б*)

подстилаются водой и в разрезе месторождений района Дейр-эз-Зор значительная роль принадлежит карбонатным породам, то метасоматический процесс проходил при высоком парциальном давлении H_2O и CO_2.

С учетом относительно высокого процента базальтоидов 8,8-19 % в разрезе нефтяного резервуара Дейр-эз-Зор, высокой температуры базальтовой магмы и ее высокой теплоемкости при давлении порядка 0,5-2,0 кбар можно сделать вывод, что долеритовые силлы оказывали на нефть примерно такое же воздействие, как и крекинг-процесс с разделением ее на тяжелые и легкие составляющие. Это предположение подтверждается тем известным фактом, что нефть месторождений района Дейр-эз-Зор является более легкой, чем в соседних северо-восточных месторождениях Ремелан и Суедия, находящихся в Синжарском троге вне Евфратского рифта. Вероятно, под влиянием избыточного давления легкие фракции мигрировали в зоны пониженного давления, в первую очередь в верхние зоны осадочного бассейна. Возможно, определенные участки нефтяного резервуара, испытавшие тепловое воздействие долеритовых силлов, характеризуются иным составом нефти, чем те, которые этому процессу не подвергались. В приведенном исследовании анализ физико-химических характеристик нефти не проводился.

Изучение рудных минералов в полированных шлифах базальтов и пироксеновых долеритах показало наличие мелких зерен минералов с высокой отражательной способностью – платиноида и золота (рис.5, *а*). Для изучения состава зерен изготовленные из образцов базальтоида с глубины 4085,95 м и пироксенового долерита с глубины 3679 м препараты исследовались под растровым электронным микроскопом. Однако в связи с мелким размером зерен определить количественный состав их не представляется возможным, а качественный состав представлен на рис.5. В долерите месторождения Изба зерна платиноидов отмечены в хлорите и плагиоклазе. В порфировидном пироксенитовом долерите месторождения Омар отдельные зерна платиноидов и золота, а также сыпь таких зерен содержится в хлорите, развивающемся по плагиоклазу. В муджиеритах месторождения Омар встречены зерна золота с оторочкой сфена и платиноида.

По данным работы В.Г.Лазаренкова, И.В.Таловиной (2001), содержание ЭПГ в базальтоидах сирийских месторождений может достигать первых граммов на тонну. Обычные содержания ЭПГ в базальтах и долеритах составляют несколько миллиграммов на тонну [32], т.е. на три-четыре порядка ниже. Исключением являются долеритовые силлы Норильска, которые содержат концентрации ЭПГ, подобные сирийским месторождениям нефти [33-35].

В целом наши наблюдения за зернами платиноидов и золота показывают, что микроскопически видимые индивидуализированные частицы этих минералов наблюдаются во вторичном хлорите, который развивается по плагиоклазу в процессе автометасоматической пропилитизации при

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

диапазонах температур 150-300 °С и давлений 0,3-2,0 кбар. А это значит, что процесс перераспределения платиноидов и золота, а также их перенос в зону нефтяного резервуара месторождений района Дейр-эз-Зор мог происходить именно благодаря метасоматозу.

Сходная геологическая обстановка может наблюдаться и в других нефтяных, в том числе российских, месторождениях. Она может иметь место, когда метасоматические инъекции (обычно это траппы) внедрялись в нефтяные резервуары и оказывали на нефть контактовое воздействие, обогащая ее теми металлами, которые они сами выделяли во флюидную фазу – элементы группы железа, платиноиды и др. В качестве поисковых признаков влияния магматического фактора на металлоносность нефтей следует рассматривать, во-первых, более молодой возраст базальтовых инъекций по отношению к нефтяным резервуарам, а во-вторых, геохимические особенности этих инъекций, особенно их флюидной фазы. Дальнейший анализ этого вопроса с отбором и анализом проб нефти в контактах с долеритами несомненно представляет собой большой практический интерес не только для сирийских [36, 37], но и российских месторождений.

В качестве еще одной возможной причины образования повышенных концентраций благородных металлов в нефтях месторождений района Дейр-эз-Зор можно указать на роль мантийного фактора. Принципиальная возможность абиогенной генерации углеводородов и значение этого механизма в неорганическом генезисе нефтей анализировалась во многих работах [38]. Отметим, что сам факт повышенного содержания платиновых металлов в нефтях района Дейр-эз-Зор можно трактовать как косвенное свидетельство в пользу абиогенной гипотезы формирования углеводородов, поскольку сами по себе ЭПГ весьма характерны именно для глубинных зон Земли, возможно, даже для зоны жидкого внешнего ядра [39]. Их участие во флюидных метасоматических потоках из земных недр несомненно иллюстрируется механизмом образования известных бушвелдских платиновых трубок Дрикоп, Онвервахт, Мойхук. Другой пример – обогащение ЭПГ газовых струй, сопровождающих вулканические излияния. Например, при извержении в 1976 г. камчатского вулкана Толбачик в атмосферу было выброшено около 70 т иридия [40]. На Гавайях в процессе извержения вулкана Килауэа наблюдались мощные иридиевые эмиссии [41]. Академик Н.А.Шило, изучая многочисленные золоторудные месторождения, например Витватерсранд Южной Африки, Мурунтау в Узбекстане, на глубине 4005-4300 м в гранитоидном массиве, показывает факт совместного нахождения золота и нафтидов. Так, в золотых рудниках Витватерсранд откачивают до 500 млн $м^3$ углеводородных газов в год [42].

Образование нефтей района Дейр-эз-Зор происходило в ходе становления Евфратского рифта в условиях вулканизма и рифтогенной деструкции земной коры, носившей длительный и многостадийный характер. Сложная цепь базальтовых и щелочнобазальтовых событий сопровождала эту деструкцию, а о его глубоких корнях свидетельствует наличие в шлаковых конусах позднекайнозойских базальтоидов Сирии мантийных включений шпинелевых лерцолитов и вебстеритов [43].

Щелочной магматизм, особенно кайнозойских базальтоидов, в свою очередь, по-видимому, сопровождался потоком мантийных флюидов, использовавших для своего проникновения систему дизъюнктивных нарушений Евфратского рифта. Следовательно, с позиции неорганической гипотезы образования нефти района Дейр-эз-Зор главная или, по крайней мере, определенная масса неорганических углеводородов могла поступать одновременно с потоком тепла, сопровождавшего базальтовый, щелочно-базальтовый и щелочной магматизм мел-кайнозойского возраста. В качестве реального свидетельства возможности такого тепломассопереноса можно рассматривать пропилитовый метасоматоз, затронувший все породы нефтяного резервуара района Дейр-эз-Зор. Исходя из того, что платиноиды и золото в минералогически индивидуализированном виде присутствуют в хлорите пропилитов, предполагаемый мантийный флюид мог быть обогащен платиноидами и золотом.

В целом, анализируя конкретную геологическую обстановку образования нефтяного резервуара района Дейр-эз-Зор, можно сделать вывод, что формирование его повышенной платиноносности происходило под влиянием глубинных флюидов, обогащенных ЭПГ и золотом. Тесные временные взаимоотношения щелочнобазальтового магматизма и процесса нефтеобразования свидетельствуют о возможном дополнительном вкладе в нефтяные ресурсы месторождений района Дейр-эз-Зор неорганического углеводородного компонента. По всей видимости, этот компонент сопровождал

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2024. Т. 269. С. 833-847
© И.В.Таловина, Р.К.Илалова, И.А.Бабенко, 2024

интенсивный щелочной тепломассоперенос в рифтогенном процессе. Наличие мантийных включений шпинелевых лерцолитов и вебстеритов в шлаковых конусах позднекайнозойских базальтоидов Сирии свидетельствует о глубоких мантийных корнях этого процесса [43].

Относительно высокий уровень концентрации ЭПГ в нефтях сирийских месторождений делает актуальным вопрос широкого анализа их распределения в российских нефтяных месторождениях. Особый интерес представляют те, из продуктов сгорания которых эти элементы могут быть рентабельно извлечены вместе с ванадием и никелем.

Заключение. Проведенные исследования показывают, что сырая нефть большей части исследованных месторождений России (большинства месторождений Западной Сибири, Калининградской обл., Ромашкинского, Юрубченского месторождений) обычно обнаруживает низкие содержания палладия (5-7 мг/т) и платины (0,05-5 мг/т), по-видимому близкие к фоновым содержаниям этих элементов в сырых нефтях. Сами по себе эти концентрации в отдельных пробах выше на порядок, чем кларковые содержания таких элементов в континентальной коре и в осадочных породах в целом. При этом концентрации Pt, Pd и Au в нефти повышены в большей части месторождений Оренбуржья и во всех рассмотренных месторождениях Сирии. В этом отношении нефти не отличаются от других богатых углеродом осадочных пород, например черных сланцев, для которых также характерны повышенные содержания платиновых металлов и золота. Наряду с фоновыми концентрациями в отдельных нефтяных месторождениях платиновые металлы и золото обладают высокими и даже аномально высокими содержаниями, подобно марганцу, никелю и другим элементам-примесям, т.е. носят такой характер распределения, как и в других осадочных породах. Анализ содержаний платиновых металлов и золота из ряда нефтяных месторождений показал также наличие определенной геохимической специфики месторождений, в частности обогащение сирийских и оренбургских месторождений платиноидами, польских – золотом, а западносибирских – серебром.

В целях прогнозного подхода для выявления подобных нефтяных месторождений необходимо определить возможные геологические причины образования аномально высоких концентраций платиновых металлов и золота в нефтях. Такими причинами, с нашей точки зрения, могут быть следующие:

• влияние особенностей процесса осадконакопления, в ходе которого образовались горные породы будущего нефтяного резервуара с последующей ассимиляцией нефтями тяжелых металлов из вмещающих пород или минерализованных вод в процессе миграции и фильтрации нефтей; гипергенные и эпигенетические изменения нефтей;

• фактор пространственной близости нефтяных месторождений и ультраосновных массивов, которые могли быть первоисточником платиновых металлов как при образовании высокоуглеродистых нефтематеринских пород, так и гидрогенном переотложении платиновых металлов подземными водами;

• магматический фактор и контактово-метасоматическое воздействие магматических инъекций, которое могло обогащать нефть металлами, отделяемыми во флюидную фазу – элементами группы железа, платиноидами и др.

• фактор влияния мантийных флюидов, выносивших из внешнего жидкого ядра Земли ЭПГ вместе с водородом. Обогащенность ядра Земли этими элементами хорошо известна, как и обогащенность его никелем и другими элементами группы железа. Выявление и установление корреляционных связей платиновых металлов с никелем, ванадием и элементами группы железа представляет генетический и поисковый интерес. Этот фактор мог действовать независимо от магматического фактора либо в тесном взаимодействии с ним.

В целом выполненный нами анализ геологических причин образования высоких и аномально высоких концентраций платиновых металлов в разных нефтяных месторождениях можно рассматривать как совокупность положительных поисковых признаков, используемых при поисках и выявлении нефтяных месторождений с повышенными концентрациями платиновых металлов.

При таком подходе имеет смысл проанализировать содержания платиновых металлов в нефтях тех месторождений, которые расположены в относительной близости от ультраосновных массивов. Ни одно из месторождений, нефть которых была проанализирована нами в таблице, к подобным нефтяным месторождениям не принадлежит. На территории России такие месторождения

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

известны. Учитывая, что платиноидами, вероятнее всего, обогащены нефти тех провинций, в которых присутствуют обогащенные ЭПГ ультраосновные массивы (расслоенные, зональные, офиолитовые), нами предлагается проанализировать нефтяные месторождения Республики Башкортостан и п-ова Ямал, примыкающие к Уральской провинции ультраосновных пород. Более того, на карте металлогенического районирования нефтей Российской Федерации нефтяные месторождения, примыкающие к Уралу, характеризуются ванадиевой геохимической специализацией. В районе п-ова Ямал в этом плане представляют интерес месторождения Нуралинского мегавала (А.С.Егоров, 2018): Новопортовское, Бованенковское и Крузенштернское. Все они расположены на северо-северо-западном разломе Нуралинского мегавала, и под ними предполагаются офиолитовые массивы Полярного Урала. Другим возможным объектом изучения платинометалльности нефтепродуктов в этом регионе является Ямбургское месторождение.

Особый интерес с генетических позиций представляет определение содержания платиновых металлов в нефтях Венесуэлы и Мексиканского залива. В этих районах нефтяные скопления залегают в меловых отложениях, непосредственно покрывающих серпентиниты офиолитовых массивов. В геохимическом отношении нефти Венесуэлы известны тем, что они содержат рекордные количества ванадия – типоморфного сидерофила ультраосновных пород. Известность нефтей Мексиканского залива связана еще и с тем, что, как предполагается, зона Мексиканского залива является областью современной нефтегенерации.

Авторы выражают благодарность за консультации директору Института прикладных исследований АН Республики Татарстан (*Казань*) *д-ру геол.-минерал. наук И.Н.Плотниковой, а также ведущему специалисту научной проблемной лаборатории* «*Наука о Земле*» *Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II П.И.Примаку.*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лазаренков В.Г., Ганай А.Х.М., Колосова Л.П. и др.* Распределение элементов платиновой группы и золота в нефтях месторождений Джбисса и Омар (Сирия) // ДАН. 1998. Т. 360. № 1. С. 93-95.
2. *Александрова Т.Н., О'Коннор С.* Переработка платинометалльных руд в России и Южной Африке: состояние и перспективы // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 462-473. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.9
3. *Путиков О.Ф., Вешев С.А., Ворошилов Н.А. и др.* Струйные ореолы рассеяния тяжелых металлов нефтегазовых месторождений и их использование при оценке параметров залежей // ДАН. 2000. Т. 370. № 5. С. 668-671.
4. *Putikov O., Kholmyanski M., Ivanov G., Senchina N.* Application of geoelectrochemical method for exploration of petroleum fields on the Arctic shelf // Geochemistry. 2020. Vol. 80. Iss. 3. № 125498. DOI: 10.1016/j.geoch.2019.02.001
5. *Надиров Н.К., Котова А.В., Камьянов В.Ф. и др.* Новые нефти и их использование: Металлы в нефтях. Алма-Ата: Наука, 1984. 448 с.
6. *Пономарева Г.А., Панкратьев П.В.* Особенности распределения благородных металлов в нефти западной части Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 5 (124). С. 125-131.
7. *Woodland S.J., Ottley C.J., Pearson D.G., Swarbrick R.E.* Microwave digestion of oils for platinum group and rare earth elements by ICP-MS / Plasma Source Mass Spectrometry: the New Millennium. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001. P. 17-24. DOI: 10.1039/9781847551696-00017
8. *Litvinenko V.* Foreword: Sixty-year Russian history of Antarctic sub-glacial lake exploration and Arctic natural resource development // Geochemistry. 2020. Vol. 80. Iss. 3. № 125652. DOI: 10.1016/j.chemer.2020.125652
9. *Litvinenko V.S., Leitchenkov G.L., Vasiliev N.I.* Anticipated sub-bottom geology of Lake Vostok and technological approaches considered for sampling // Geochemistry. 2020. Vol. 80. № 3. DOI: 10.1016/j.chemer.2019.125556
10. *Gupta J.G.S.* Determination of trace and ultra-trace amounts of noble metals in geological and related materials by graphite-furnace atomic-absorption spectrometry after separation by ion-exchange or co-precipitation with tellurium // Talanta. 1989. Vol. 36. Iss. 6. P. 651-656. DOI: 10.1016/0039-9140(89)80257-7
11. *Федоров Ю.Н., Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Ронкин Ю.Л.* Неорганическая геохимия нефти Западной Сибири (первые результаты изучения методом ICP-MS) // ДАН. 2007. Т. 414. № 3. С. 385-388.
12. *Якуцени С.П., Кудрявцева Е.И.* Металлы в нефтях и конденсатах Польши // Геология нефти и газа. 1998. № 3. С. 44-46.
13. *Finlay A.J., Selby D., Osborne M.J.* Petroleum source rock identification of United Kingdom Atlantic Margin oil fields and the Western Canadian Oil Sands using Platinum, Palladium, Osmium and Rhenium: Implications for global petroleum systems // Earth and Planetary Science Letters. 2012. Vol. 313-314. P. 95-104. DOI: 10.1016/j.epsl.2011.11.00
14. *Xiugen Fu, Jian Wang, Yuhong Zeng et al.* Geochemistry of platinum group elements in marine oil shale from the Changshe Mountain area (China): Implications for modes of occurrence and origins // International Journal of Coal Geology. 2011. Vol. 86. Iss. 2-3. P. 169-176. DOI: 10.1016/j.coal.2011.01.002
15. Природные битумы СССР (закономерности формирования и размещения). Л.: Недра, 1981. 195 с.
16. *Wedepohl K.H.* The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. Vol. 59. Iss. 7. P. 1217-1233. DOI: 10.1016/0016-7037(95)00038-2

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

17. *Cheremisina O., Litvinova T., Sergeev V. et al.* Application of the Organic Waste-Based Sorbent for the Purification of Aqueous Solutions // Water. 2021. Vol. 13. Iss. 21. № 3101. DOI: 10.3390/w13213101

18. *Kudinova A.A., Poltoratckaya M.E., Gabdulkhakov R.R. et al.* Parameters influence establishment of the petroleum coke genesis on the structure and properties of a highly porous carbon material obtained by activation of KOH // Journal of Porous Materials. 2022. Vol. 29. Iss. 5. P. 1599-1616. DOI: 10.1007/s10934-022-01287-1

19. *Гурская Л.И.* Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб: ВСЕГЕИ, 2000. 207 с.

20. *Пономарева Г.А., Никифоров И.А.* Закономерности пространственного распределения платины и палладия в нефтегазовых месторождениях Оренбургской области // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2015. № 7. С. 28-34.

21. *Трофимук А.А., Молчанов В.И., Параев В.В.* Особенности геодинамических обстановок формирования гигантских месторождений нефти и газа // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 5. С. 673-682.

22. *Скублов С.Г., Макеев А.Б., Красоткина А.О. и др.* Изотопно-геохимические особенности циркона из пижемского титанового месторождения (Средний Тиман) как отражение гидротермальных процессов // Геохимия. 2022. Т. 67. № 9. С. 807-829. DOI: 10.31857/S0016752522090060

23. *Новиков Д.А., Гордеева А.О., Черных А.В. и др.* Влияние траппового магматизма на геохимию рассолов нефтегазоносных отложений западных районов Курейской синеклизы (Сибирская платформа) // Геология и геофизика. 2021. Т. 62. № 6. С. 861-881. DOI: 10.15372/GiG2020160

24. *Егоров А.С., Большакова Н.В., Калинин Д.Ф., Агеев А.С.* Глубинное строение, тектоника и геодинамика Охотоморского региона и структур его складчатого обрамления // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 703-719. DOI: 10.31897/PMI.2022.63

25. *Egorov A.S., Prischepa O.M., Nefedov Y.V. et al.* Deep Structure, Tectonics and Petroleum Potential of the Western Sector of the Russian Arctic // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. Vol. 9. Iss. 3. № 258. DOI: 10.3390/jmse9030258

26. *Зубков В.С.* Гипотезы происхождения тяжелых углеводородов и битумов в разновозрастных офиолитах // Литосфера. 2009. № 1. С. 70-80.

27. *Ганай А.Х.М.* Петрофизические исследования при изучении нефтегазовых месторождений на востоке Сирии // Геофизика. 1995. № 2. С. 47-51.

28. *Васильев Е.А., Клепиков И.В., Козлов А.В., Антонов А.В.* Природа удлиненной формы кристаллов алмаза из россыпей Урала // Записки Горного института. 2019. Т. 239. С. 492-496. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.492

29. *Stern R.J., Johnson P.* Continental lithosphere of the Arabian Plate: A geologic, petrologic, and geophysical synthesis // Earth-Science Reviews. 2010. Vol. 101. Iss. 1-2. P. 29-67. DOI: 10.1016/j.earscirev.2010.01.002

30. *Хаин В.Е.* Региональная геотектоника. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. М.: Недра, 1971. 548 с.

31. *Xingfen Chen, Yunsheng Zhang, Hui D. et al.* Study of melting properties of basalt based on their mineral components // Composites Part B: Engineering. 2017. Vol. 116. P. 53-60. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.02.014

32. *Бородин Л.С.* Геохимия главных серий изверженных пород. М.: Недра, 1981. 195 с.

33. *Krivolutskaya N., Makvandi S., Gongalsky B. et al.* Chemical Characteristics of Ore-Bearing Intrusions and the Origin of PGE–Cu–Ni Mineralization in the Norilsk Area // Minerals. 2021. Vol. 11. Iss. 8. № 819. DOI: 10.3390/min11080819

34. *Krivolutskaya N.A.* Siberian Traps and Pt-Cu-Ni Deposits in the Norilsk Area. Cham: Springer, 2016. 364 p.

35. *Канимбуе Л.С., Таловина И.В.* Платинометалльное оруденение Норильского района: история и перспективы изучения // Известия Уральского государственного горного университета. 2022. Вып. 4 (68). С. 56-63. DOI: 10.21440/2307-2091-2022-4-56-63

36. *Дико Мухамаду Б.Б., Щеколдин Р.А., Дмитриева Т.В., Шапиро А.И.* Геологические условия и модель формирования битумоидов в районе Фреско западного сектора бассейна Кот-д'Ивуар // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2022. Т. 17. № 3. 19 с. DOI: 10.17353/2070-5379/30_2022

37. *Дико Мухамаду Б.Б., Щеколдин Р.А., Дмитриева Т.В.* Особенности состава и условия формирования кайнозойских отложений региона Гран-Лау нефтегазоносного бассейна Кот-д'Ивуар // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 2. 18 с. DOI: 10.17353/2070-5379/16_2019

38. *Litvinenko V.S., Kozlov A.V.* The Ural-African Transcontinental Oil and Gas Belt // Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology. 2014. Vol. 5. Iss. 2. № 174. DOI: 10.4172/2157-7463.1000174

39. *Добрецов Н.Л.* Мантийные плюмы и их роль в формировании анорогенных гранитоидов // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 12. С. 1243-1261.

40. *Крикун Н.С., Бабенко И.А., Таловина И.В., Дурягина А.М.* Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности неогеновых отложений южного сегмента Курильской островодужной системы // Russian Journal of Earth Sciences. 2024. Т. 24. № 2. № ES2001. DOI: 10.2205/2024ES000905

41. *Hinkley T.K., Lamothe P.J., Wilson S.A. et al.* Metal emissions from Kilauea, and a suggested revision of the estimated worldwide metal output by quiescent degassing of volcanoes // Earth and Planetary Science Letters. 1999. Vol. 170. Iss. 3. P. 315-325. DOI: 10.1016/S0012-821X(99)00103-X

42. *Шило Н.А.* Физика рудогенеза Витватерсранда (ЮАР) // Вестник Пермского университета. Геология. 2008. Вып. 10 (26). С. 62-73.

43. *Barrier E., Machhour L., Blaizot M.* Chapter 11: Petroleum Systems of Syria / Petroleum Systems of the Tethyan Region: AAPG Memoir 106. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 2014. P. 335-378. DOI: 10.1036/13431862M1063612

***Авторы*: И.В.Таловина,** *д-р геол.-минерал. наук, заведующий кафедрой, https://orcid.org/0000-0003-4132-7010* (*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия*), **Р.К.Илалова,** *канд. геол.-минерал. наук, доцент, Ilalova_RK@pers.spmi.ru, https://orcid.org/0000-0003-2241-3239* (*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия*), **И.А.Бабенко,** *аспирант, https://orcid.org/0009-0000-5282-3883* (*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия*).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0