

С. С. Потапов

**ИЗУЧЕНИЕ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ В
НЕФТЕПРОМЫСЛОВОМ ОБОРУДОВАНИИ —
АКТУАЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ МИНЕРАЛОГИИ
ТЕХНОГЕНЕЗА**

*S. S. POTAPOV. INVESTIGATION OF THE SALT-
PRECIPITATIONS IN OIL-MINING EQUIPMENTS —
ACTUAL LINE IN THE MINERALOGY OF
TECHNOGENESIS*

Problems of salt-precipitation in equipments under mining and reworking of oil and gas are discussed.

Минералогия техногенеза — одно из относительно новых и плодотворно развивающихся направлений минералогической науки. Термин «техногенез» как совокупность геохимических и минералогических последствий технической деятельности человека ввел впервые в науку академик А. Е. Ферсман [12]. Под техногенезом понимается процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека. Он заключается в преобразовании биосферы, вызываемом совокупностью геохимических процессов, связанных с технической и технологической деятельностью людей по извлечению из окружающей среды, концентрации и перегруппировке целого ряда химических элементов, их минеральных и органических соединений (ГОСТ 17.1.01.—78). Комплекс геохимических проблем, возникающих в связи с хозяйственной деятельностью, может быть объединен понятием геохимии техногенеза [11]. Геохимические процессы «вследствие мощной и все расширяющейся технической деятельности человека на поверхности земли, в ее не-

драх, на глубине до десятка километров, в атмосфере и даже выше ее» [16] приводят к многочисленному и разнообразному минералообразованию, кристаллизации своеобразных минералов, изучением которых занимается новое направление — минералогия техногенеза.

Первая лаборатория минералогии техногенеза была утверждена Ученым советом Ильменского государственного заповедника 12 февраля 1985 г., которую организовал и возглавил Б. В. Чесноков [14]. Позже были созданы группы и лаборатории минералогии и геологии техногенных процессов в Институте геохимии и геофизики АН Республики Беларусь, в Естественно-научном институте Пермского университета. Ведутся исследования по проблемам минералогии техногенеза в Уральской Горно-геологической Академии (техногенез колчеданных месторождений Урала), в Ростовском университете (минералогия и геохимия техногенных травертинов), во ВНИИ Механобр (техногенная минерализация памятников монументальной архитектуры), в Институте горного дела ДВО РАН (техногенное преобразование золота в россыпях) и др.

Актуальные проблемы минералогии техногенеза сформулированы Б. В. Чесноковым [13]. В лаборатории минералогии техногенеза Института минералогии УрО РАН в настоящее время разрабатываются три основные темы:

— минералообразование в горящих отвалах угледобывающих предприятий,

— минералообразование в нефтяных скважинах и другом нефтепромысловом оборудовании (НПО),

— продукты глубокой коррозии (минерализации) черных и цветных металлов в экстремальных условиях геологической среды. Выполняется также поисковая тема по изучению современного минералообразования в соляных отвалах Верхнекамского месторождения калийных солей. Фрагментарно исследовались минералообразование в конструкциях, зданиях и сооружениях [7], загрязнение среды техногенными пылями [15], образование стекла при нефтяных пожарах [8].

Начало изучения минералогии солевых отложений в НПО месторождений Предуралья и Западной Сибири при поддержке и содействии Миннефтепрома было организовано в начале 1985 г. Б. В. Чесноковым. Толчком к этому

послужил доклад В. Н. Аристова [1], оказавший неизгладимое впечатление не столько своей содержательной частью, сколько демонстрацией образцов обрезков нефтяных труб с отложениями солей. Позднее в эти исследования включились В. В. Ершов с 1986 г. и С. С. Потапов с 1987 г. Расширилась и география объектов исследования. Были получены пробы из Ставропольского края, Восточной Сибири. В 1990 г. были проведены экспедиционные работы на о. Сахалин (месторождения Тунгор, Эхаби, Колендо), а в 1991 г. — в Пермском Прикамье (месторождения Быркинское, Гожанское, Гондыревское, Константиновское, Кудединское), в которых принимал участие, будучи студентом Свердловского горного института, А. В. Рочев. В 1993—95 г.г. С. С. Потаповым совершены поездки на супергигантское нефтяное месторождение Тенгиз в Западном Казахстане, что положило начало изучению солей и продуктов коррозии в оборудовании Тенгизского газоперерабатывающего завода СП «Тенгизшевройл». Кроме того, в 1994—1995 г.г. проведены рекогносцировочные работы на Астраханском газоконденсатном месторождении и отобраны осадки из оборудования Астраханского газохимического комплекса. На протяжении всего этого периода продолжалось изучение солеотложения на месторождениях Западной Сибири, главным образом, в районе Среднего Приобья (месторождения Усть-Балыкское, Правдинское, Приразломное, Сургутское, Мамонтовское и др.). В 1995 г. по договору с АОТ «Лукойл-Когалымнефтегаз» оперативно проведены работы не только по анализу состава отложений, но и по их прогнозу на Повховском месторождении в Вартовском нефтегазоносном районе Западной Сибири.

Солевые отложения — твердые неорганические соединения, образующиеся в промышленном оборудовании и нефтяном пласте из попутно добываемой с нефтью воды. Англоязычным эквивалентом термина «солевые отложения» является словосочетание «Oilfield Scale», то есть «нефтяная накипь», а немецкоязычным — «der Wassersteine», то есть «водяной камень». Термин «солевые отложения» введен в научный лексикон нефтяниками и прочно обосновался в специальной литературе [4], хотя он и недостаточно точен, поскольку в составе осадков встречаются соединения, не являющиеся по химической номенклатуре солевыми, например: брусит — $Mg(OH)_2$, кварц — SiO_2 , сера — S, оксиды и гидроксиды железа.

Поэтому нами [6] предлагаются к использованию термины «минеральные отложения», «минеральные образования». Отметим, что поскольку часто осадки в оборудовании представлены карбонатом кальция, то для их названия специалистами геологами используется определение «техногенные травертины» [10].

Проблема солеотложения в НПО продолжает оставаться одной из актуальных в нефтяной промышленности. В Западной Сибири она возникла в 1971 г. при добыче обводненной нефти на месторождениях Шаимской группы, в частности, на Трехозерном, Мортымья-Тетеревском. Вскоре солеотложения были обнаружены и на других месторождениях: Усть-Балыкском в 1972 г., Самотлорском в 1973 г., Западно-Сургутском и Мегионском в 1976 г. Фонд солепроявляющих скважин быстро растет. Например, на Самотлорском месторождении за 7 лет эксплуатации число скважин с солями увеличилось с 1 до 174. Несмотря на интенсивный поиск и внедрение различных способов и методов предотвращения солеотложения, по-прежнему отмечается значительное увеличение числа скважин, технологических аппаратов и трубопроводов, эксплуатация которых осложняется в связи с солеотложениями. Солевые отложения приводят к преждевременному износу и выходу из строя оборудования, падению добычи нефти, а также оказывают существенное влияние на процесс коррозии. Убытки от солеотложения год от года растут, что связано с увеличением фонда добывающих скважин и парка промыслового оборудования, с вовлечением в эксплуатацию новых площадей и больших глубин, с растущими объемами заводнения на освоенных объектах, с широким использованием различных растворов и реагентов в процессе добычи нефти. Так, в США затраты на борьбу с солеотложениями в скважинах и промысловом оборудовании превышают 1 млрд. долл. ежегодно [20], а потери от коррозии НПО по данным Национального бюро стандартов составляют 70 млрд. долл. [17].

Для применения эффективных мер предупреждения и борьбы с осадками в НПО необходимо прежде всего знать их минеральный состав [4], но в практике промысловых исследований используют данные лишь химического анализа, трактовка которых не всегда однозначна: кальцит-арагонит-фатерит- CaCO_3 , канзит-макинавит-тро-

илиит-FeS, гетит-акаганеит-лепидокрокит-FeO(OH), кварц-кristобалит-SiO₂, гематит-маггемит-Fe₂O₃ (полиморфизм); кальцит-доломит-магнезит, барит -радиобарит -целестинобарит -баритоцелестин -целестин (изоморфизм), а порой, видимо, и ошибочна, что касается конечных членов изоморфных рядов — магнезита и целестина, описываемых некоторыми авторами в составе солевых отложений не достаточно достоверно. Поэтому в публикациях по проблеме солеотложения фигурируют лишь главные составляющие осадков: карбонат кальция, сульфаты бария и кальция, хлорид натрия.

Нашими исследованиями на месторождениях Западной и Восточной Сибири, Сахалина, Пермского Прикамья, Казахстана, Нижнего Поволжья существенно уточнен состав минеральных образований в оборудовании добычи, подготовки и переработки нефти и газа (табл.). С учетом литературных данных [3, 4, 5, 18, 19] и результатов исследований наших коллег [2] составлен наиболее полный на настоящий момент список минеральных образований в НПО [9]. Он включает в себя, кроме указанных в таблице 47 минералов, еще 21: мышьяк — As, свинец — Pb, канзит — FeS, трехсернистое железо — Fe₂S₃, сфалерит — ZnS, синджарит — CaCl₂·2H₂O, четырехводный хлорид кальция (мезогидрит) — CaCl₂·4H₂O, антарктикит — CaCl₂·6H₂O, хлорокальцит — KCaCl₃, магнезит — MgCO₃, калицинит — KHCO₃, нахколит — NaHCO₃, термонатрит — Na₂CO₃·H₂O, трону — Na₃H(CO₃)₂·2H₂O, Сакутнагорит — Ca(Ca,Mn,Mg)(CO₃)₂, дарапскит — Na₃(SO₄)(NO₃) · H₂O, баритоцелестин — (Sr,Ba)SO₄, целестин — SrSO₄, ханнебахит — 2CaSO₃·H₂O, таумасит — Ca₃Si(OH)₆(CO₃)(SO₄)·12H₂O, сассолин — H₃BO₃. Естественно, что это не окончательный список минералов в НПО; он будет пополняться с вовлечением в сферу исследований других объектов. К появлению новых минералов в составе отложений может приводить ряд технологических и естественных причин: атомное стимулирование нефтеотдачи, повышение нефтеотдачи методом внутрискластового горения, паронагнетательная система поддержания пластового давления, дозирование химреагентов, влияние температуры естественных подземных нефтяных пожаров и др.

Таблица

Минеральные образования в оборудовании добычи,
подготовки и переработки нефти и газа

№ п/ п	Минерал и формула	Тип отложения				
		1	2	3	4	5
1	Сера S	+	+	+		
2	Углерод* C		+			
3	Макинавит FeS		+			
4	Троилит FeS		+			
5	Грейгит Fe ₃ S ₄		+			
6	Пирротин* Fe ₉ S ₁₀		+			
7	Пирит FeS ₂		+		+	
8	Марказит FeS ₂		+			
9	Галит NaCl	+		+		+
10	Сильвин* KCl	+				
11	Нашатырь* NH ₄ Cl	+				
12	Флюорит* CaF ₂	+				
13	Атакамит* Cu ₂ Cl(OH) ₃		+			
14	Кварц SiO ₂	+			+	
15	Кристобалит SiO ₂ *				+	
16	Куприт* Cu ₂ O		+			
17	Тенорит* CuO		+			
18	Вюстит FeO		+			
19	Гематит* α-Fe ₂ O ₃	+	+			
20	Маггемит γ-Fe ₂ O ₃		+			
21	Магнетит Fe ₃ O ₄	+	+			
22	Гетит α-FeO(OH)			+		
23	Акаганеит β-FeO(OH)		+	+		
24	Лепидокрокит γ-FeO(OH)		+	+		
25	Брусит Mg(OH) ₂	+				
26	Гидроксид Al* Al(OH) ₃		+			
27	Кальцит CaCO ₃	+		+		+
28	Арагонит CaCO ₃	+				
29	Фатерит CaCO ₃	+				
30	Доломит CaMg(CO ₃) ₂	+				
31	Сидерит FeCO ₃	+	+			
32	Барит BaSO ₄	+				
33	Целестинобарит (Ba,Sr)SO ₄	+				
34	Ангидрит CaSO ₄	+				
35	Бассанит 2CaSO ₄ · H ₂ O	+				
36	Гипс CaSO ₄ · 2H ₂ O	+		+		+
37	Ссомольнокит* FeSO ₄ · H ₂ O		+			
38	Розенит* FeSO ₄ · 4H ₂ O		+			

Продолжение таблицы

№ п. п.	Минерал и формула	Тип отложения				
		1	2	3	4	5
39	Феррогексагидрит* $\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		+			
40	Муллит* $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$				+	
41	Альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$				+	
42	Олигоклаз $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$				+	
43	Каолинит $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$				+	
44	Мусковит $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$				+	
45	Иллит $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2 \cdot$ $(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$				+	
46	Клинохлор $\text{Mg}_5\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})$				+	
47	Родзит*! $(\text{Ca},\text{Na}_2,\text{K}_2)_8\text{Si}_{16}\text{O}_{40} \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	+	?			

Примечание. Тип отложения: 1 — солевые отложения; 2 — продукты коррозии; 3 — отложения в системе поддержания пластового давления; 4 — механические примеси, вынесенные из нефтяного пласта; 5 — отложения в нефтяном пласте. * — минералы, впервые обнаруженные в составе осадков из НПО автором; ! — первая находка минерала в России и четвертая в мире; +? — природа отложения неясна.

Основные выводы:

— Состав минеральных образований в НПО более разнообразен, чем считалось ранее.

— Наряду с естественными причинами солеотложения выделены технологические, приводящие не только к увеличению масштабов солепроявлений, но и к разнообразию их состава.

— Полученные результаты явились минералогической основой разработки технологических приемов минимизации солеотложения.

Литература

1. Аристов В. Н. Минеральный состав солевых отложений в добывающих скважинах // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления. Тюмень: ВМО, 1983. С. 134 — 136.

2. *Ершов В. В., Потапов С. С., Чесноков Б. В.* Минеральный состав солевых отложений в нефтепромысловом оборудовании. Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. 56 с.
3. *Иоаннидис О. К., Завьялова Э. П.* Влияние сульфидов на коррозию стали в конденсатах газовых месторождений, содержащих сероводород // *Коррозия и защита*, 1978, № 5. С. 7—11.
4. *Кацавцев В. Е., Гаттенбергер Ю. П., Люшин С. Ф.* Предупреждение солеобразования при добыче нефти. М.: Недра, 1985. 215 с.
5. *Лебедев Л. М., Никитина И. Б.* Челекенская рудообразующая система. М.: Наука, 1983. 240 с.
6. *Потапов С. С.* Минералогия солевых отложений в скважинах и другом нефтепромысловом оборудовании месторождений Западной Сибири. Автореф. дис. ...канд.геол.-минер.наук. Екатеринбург: УрО РАН, 1993. 20 с.
7. *Потапов С. С., Ершов В. В.* Вторичное минералообразование в стеновых покрытиях // *Уральский минералогический сборник*, № 1. — Екатеринбург: УИФ Наука, 1993. С. 120—123.
8. *Потапов С. С.* Тенгизит — техногенное стекло // *Уральский минералогический сборник*, № 3. Миасс: УрО РАН, 1994. С. 174—179.
9. *Потапов С. С.* Солевые отложения в нефтепромысловом оборудовании: обзор направлений исследований, преимущества минералогического подхода // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. Екатеринбург: УГГГА, 1994, № 9 — 10. С. 71—77.
10. *Седлецкий В. И., Семенов Г. А., Холодный Д. Э., Шиф А. И.* Минералого-геохимические особенности травертинов месторождений минеральных вод Северного Кавказа // *Проблемы геологии Тюменской области и сопредельных регионов*. Тюмень: ВМО, 1991. С. 125—134.
11. *Таусон Л. В.* Современные проблемы геохимии техногенеза // *Геохимия техногенных процессов*. М.: Наука, 1990. С. 3—13.
12. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Л.: ОНТИ, 1934. Т. 2. 354 с.
13. *Чесноков Б.В.* Актуальные проблемы минералогии техногенеза на Урале // *Материалы по минералогии мес-*

- торождений Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. С. 59—62.
14. Чесноков Б. В. Лаборатории минералогии техногенеза пять лет // Новые данные по минералогии эндогенных месторождений и зон техногенеза Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 115—119.
 15. Щербакова Е. П. Опыт минералогического изучения снеговой пыли // Уральский минералогический сборник, № 1. Екатеринбург: УИФ Наука, 1993. С. 105—107.
 16. Юшкин Н. П. В. И. Вернадский и развитие прикладной минералогии // Минералогический журнал, 1988, № 2. С. 69 —77.
 17. Bertness T. A., Chilingarian George V., Al-Bassam Moayed. Corrosion in drilling and producing operations // Surface Oper. Petrol. Prod. II. Amsterdam, 1989. P. 283—317.
 18. Lubas Jan. Badanie procesow powstawania wytracen polimetalicznych w rurach wydobywczycch odwiertow gazowych // Nafta, 1988. 44, № 6. S. 133—138.
 19. Pilots due to scrub arsenic from Abo gas // Oil and Gas J, 1988. 86, № 32. P. 24.
 20. Vetter O. J. Oilfield Scale — Can We Handl It? // J. Petrol. Technol, 1976, № 12. — P. 1402—1408.