

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК-ЕМКОСТЕЙ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ГАЗОНЕФТЕПРОДУКТОВ В КАМЕННОЙ СОЛИ С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ГАЗА

В.П. Малюков

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 115419

Рассмотрены экспериментальные и натурные исследования процесса подземного растворения каменной соли с выбросами соли и газа. Определен коэффициент массоотдачи, характеризующий формообразование и скорость строительства подземных выработок-емкостей для резервирования углеводородов.

Ключевые слова: каменная соль, подземная выработка-емкость, растворитель, нерастворитель, газ, нерастворимые включения, самоорганизующиеся гидродинамические вихревые структуры, структуры поверхности, наноструктуры.

Добыча рассола на рассолопромыслах и строительство подземных выработок-емкостей для резервирования углеводородов в каменной соли осуществляется при подаче растворителя и выдаче рассола через буровые скважины. На рис. 1 представлена принципиальная схема строительства подземной выработки-емкости.

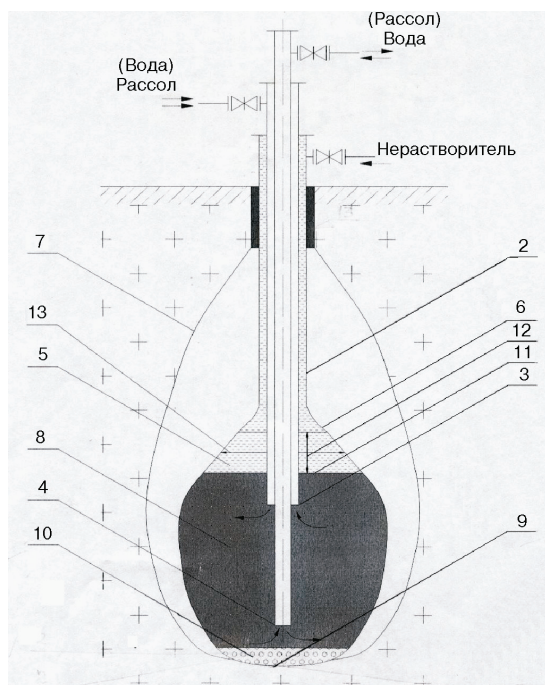


Рис. 1. Принципиальная схема строительства подземной выработки-емкости:

1 — каменная соль; 2 — основная обсадная колонна; 3 — башмак внешней подвешной колонны; 4 — башмак центральной подвешной колонны; 5 — нерастворитель; 6 — контур выработки-емкости в процессе строительства; 7 — конечный контур выработки-емкости; 8 — растворитель; 9 — забой; 10 — выпавшие нерастворимые включения; 11 — уровень раздела нерастворитель-рассол; 12 — интервал измерения уровня раздела нерастворитель-рассол; 13 — средний диаметр интервала

На схеме слева обозначен режим противоток, справа — прямоток.

Каменная соль включает растворимые кристаллы, нерастворимые включения и газ. Растворение вызывает полное разрушение кристаллической решетки соли. При подземном растворении коэффициент массоотдачи характеризует скорость разрушения породы и переход различных компонентов в растворитель.

При растворении каменной соли происходит выброс частиц соли чешуйчатой, пластинчатой формы размером в несколько миллиметров из приповерхностного слоя кристалла при воздействии растворителя.

Строительство подземных выработок-емкостей в значительной степени определяется процессами массоотдачи в приконтурной зоне. При подаче растворителя через буровую скважину при гидродинамическом воздействии на границе «каменная соль — флюид» протекают процессы массоотдачи, характеризующие скорость строительства подземной выработки-емкости и ее формообразование.

Коэффициент массоотдачи при растворении каменной соли определяет общую величину подвижки межфазной границы вглубь массива при растворении каменной соли в единицу времени при проявлении различных механизмов переноса массы при разных условиях контактирования фаз (молекулярная диффузия, конвективный перенос, перенос при воздействии на поверхность каменной соли самоорганизующихся гидродинамических вихревых структур, перенос при переходе нерастворимых включений и газа в раствор).

Коэффициент массоотдачи — это коэффициент скорости разрушения каменной соли в приконтурной зоне выработки-емкости при гидродинамическом воздействии. Массоотдача при гидродинамическом воздействии на каменную соль складывается из физико-химических процессов массоотдачи в сочетании с гидродинамическим и механическим разрушением.

Лабораторная установка для определения коэффициента массоотдачи каменной соли при растворении представлена на рис. 2.

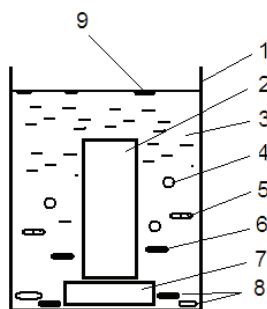


Рис. 2. Лабораторная установка для определения коэффициента массоотдачи каменной соли при растворении

- 1 — емкость; 2 — керн; 3 — растворитель; 4 — пузырьки газа; 5 — пластины соли;
6 — частицы нерастворимых включений; 7 — подставка; 8 — выпавшие нерастворимые
и пластины соли; 9 — всплывшие легкие частицы примесей

При определении коэффициента массоотдачи на образцах керна каменной соли из интервала заложения выработок-емкостей обнаружено повышенное содержание газа в породе на Лейковском штоке (Украина) и месторождении Тюз-Гелю (Турция).

Свободные и связанные газы имеют разное значение при газопроявлениях.

Свободные газы находятся в открытых микропорах и трещинах пород под давлением, теоретически достигающим величины напряжений массива (Лейковское месторождение). Связанные газы заключены в виде микроскопических пузырьков внутри кристаллов соляных пород (внутрикристаллические, месторождение Тюз-Гелю), а также находятся в сорбированном состоянии на поверхности кристаллов, пор и трещин.

Исследования выполнены для каменной соли, содержащей газ в кристаллах (месторождение Тюз-Гелю); с повышенным локальным внутренним напряжением с разрывом межкристаллических связей при растворении (Талаканское месторождение); для каменной соли с большим содержанием газа в межкристаллическом пространстве и примесях (Лейковский соляной шток).

Выбросы каменной соли и газа при растворении кристаллов каменной соли с порами, заполненными газом (месторождение Тюз-Гелю, Турция)

В результате натуральных и экспериментальных исследований обнаружены различные самоорганизующиеся гидродинамические вихревые структуры растворителя, воздействующие на поверхность каменной соли с образованием структур различного рельефа поверхности при растворении [1; 2].

К трехмерным (объемным) дефектам (несовершенствам) кристаллов относятся нарушения сплошности (поры, трещины).

Кристаллические структуры относятся к самоорганизующимся структурам.

На месторождении Тюз-Гелю в каждом кристалле каменной соли находится пора, заполненная газом. Такие кристаллы представляют собой упорядоченные (самоорганизующиеся) структуры с трехмерными дефектами (нарушениями сплошности).

Упорядоченные дефекты кристаллов каменной соли месторождения Тюз-Гелю представляют самоорганизующиеся кристаллические структуры, в которых в каждом кристалле находится полость (пора), заполненная газом.

В определенном смысле «несовершенства» (упорядоченные дефекты) кристаллов представляют «совершенство».

Растворение каменной соли — процесс эндотермический. При растворении кристалла каменной соли с полостью внутри кристалла, заполненной газом, происходит охлаждение растворяемой стенки, а противоположная стенка кристалла остается при прежней температуре, т.е. образуется температурный градиент. Плотность газа у внутренней стенки кристалла станет меньше, чем у внешней (растворяемой и охлажденной). Температурный градиент приводит к появлению градиента плотности. Степень порядка в такой системе увеличивается по сравнению с первоначальным однородным и изотропным состоянием. Степень увеличения порядка зависит от величины температурного градиента, создаваемого за счет внешнего воздействия. Чем выше температура внешнего воздействия, тем выше степень увеличения порядка.

При растворении кристалла с полостью, внутри кристалла заполненной газом, образуется перепад давления газа в тонком слое около свободной поверхности. Перепад давления разрушает этот слой и отбрасывает его в сторону выработанного пространства за счет энергии расширяющегося газа. Радиус пор $\sim 10^{-3}$ м.

Месторождение Тюз-Гелю характеризуется постоянством газонасыщенного объема его порового пространства. Газонасыщенность каменной соли месторождения Тюз-Гелю определяется как объемное количество газа, содержащегося в единице объема соли и обусловлена пористостью и давлением газа.

Газ в кристаллах соли месторождения Тюз-Гелю создает локально изменяемое давление в соляной породе (повышение давления в порах кристаллов, заполненных газом).

В процессе растворения каменной соли с месторождения Тюз-Гелю при утончении породной перегородки в кристалле соли, в котором под давлением находится газ, происходит отскакивание пластинок каменной соли и высвобождение газа (микровыброс).

Процесс массоотдачи при растворении каменной соли с повышенным содержанием газа в кристаллах характеризуется массой каменной соли, переходящей в раствор, массой каменной соли, отскакивающей в виде пластинок, и выделяемым газом.

Такой процесс массоотдачи можно рассматривать как комбинированное газодинамическое явление — газовыделение с отскакиванием пластинок соли (газовыделение с разрушением кристаллов соли).

Микровыброс газа из кристалла соли с отскакиванием пластинок соли в процессе растворения представляет собой непрерывный процесс отрыва частиц соли (разрушения приконтактной зоны породы).

В табл. 1 и 2 представлены значения коэффициента массоотдачи вертикальной поверхности каменной соли в воде в условиях естественной конвекции при температуре 20 °С, определенных на образцах керна скв. UGS 1 Tuz Galu и UGS 2 Tuz Galu.

Таблица 1

Коэффициент массоотдачи вертикальной поверхности каменной соли в воде в условиях естественной конвекции при температуре 20 °С, определенных на образцах керна скв. UGS 1 Tuz Galu

Номер образца	Глубина отбора, м	d , см	h , см	ρ , г/см ³	G_1 , г	G_2 , г	K , м/ч
10P	1048,0—1048,2	9,44	10,01	2,20	1 541,40	1 273,54	0,0596
15P	1077,0—1077,3	9,40	10,01	2,17	1 510,0	1 223,36	0,0643
25P	1083,6—1084,0	9,45	9,95	2,23	1 558,6	1 290,31	0,0598
36P	1105,4—1105,6	9,41	9,96	2,126	1 472,8	1 297,79	0,0387
42P	1108,0—1109,0	9,38	10,08	2,19	1 524,7	1 262,70	0,0583
45P	1151,0—1151,35	9,41	10,0	2,12	1 471,15	1 167,69	0,0685
52P	1154,2—1155,0	9,44	9,87	2,11	1 458,7	1 126,41	0,0761
64P	1203,0—1204,0	9,47	9,91	2,18	1 520,6	1 234,51	0,0644
74P	1250,0—1251,0	9,44	9,96	2,24	1 559,35	1 298,09	0,0584
82P	1275,5—1275,8	9,51	9,96	2,15	1 524,45	1 186,93	0,0759
86P	1301,0—1302,0	9,47	9,97	2,20	1 524,90	1 223,35	0,0682
93P	1308,0—1309,0	9,50	9,90	2,18	1 533,2	1 247,39	0,0640

**Коэффициент массоотдачи вертикальной поверхности каменной соли в воде
в условиях естественной конвекции при температуре 20 °С,
определенных на образцах керна скв. UGS 2 Tuz Galu**

Номер образца	Глубина отбора, м	d , см	h , см	ρ , г/см ³	G_1 , г	G_2 , г	K , м/ч
27P	962,6—963,0	9,46	9,99	2,17	1 523,45	1 249,60	0,0610
33P	956,6—966,0	9,50	9,97	2,10	1 486,72	1 206,60	0,0624
44P	972,0—972,7	9,52	9,98	2,24	1 590,15	1 362,98	0,0499
52P	978,0—929,0	10,16	10,29	2,22	1 854,2	1 568,78	0,0489
55P	1033,0—1034,0	9,52	9,92	2,18	1 540,9	1 262,71	0,0620
68P	1044,0—1045,0	10,15	9,92	2,24	1 800,7	1 538,84	0,0540
68P ^{дубль}	1044,8—1045,0	10,16	10,05	2,25	1 828,75	1 568,7	0,0532
74P	1049,8—1050,0	10,17	9,92	2,21	1 783,3	1 512,98	0,0553
80P	1105,0—1105,5	10,08	11,1	2,25	1 990,21	1 707,2	0,528
84P	1107,4—1108,0	10,16	10,05	2,23	1 816,9	1 544,2	0,0558
90P	1112,0—1112,5	10,15	9,90	2,23	1 782,36	1 508,0	0,0572
96P	1116,0—1117,0	10,16	10,05	2,25	1 837,87	1 590,2	0,0502
98P	1118,0—1118,4	10,15	10,05	2,26	1 838,5	1 574,59	0,0537
99P	1118,4—1119,0	10,17	10,02	2,25	1 831,9	1 561,0	0,0551
101P	1181,0—1181,5	10,14	9,74	2,20	1 731,7	1 474,4	0,0533
107P	1185,5—1186,0	9,46	9,93	2,18	1 519,85	1 263,44	0,0574
110P	1188,0—1189,0	9,46	9,99	2,10	1 530,17	1 261,82	0,0586
112P	1251,0—1251,25	9,53	9,98	2,21	1 573,71	1 318,17	0,0563
120P	1255,0—1256,0	9,49	9,98	2,21	1 564,9	1 315,85	0,0550
127P	1259,0—1260,0	9,48	9,83	2,22	1 539,3	1 284,74	0,0573
131P	1323,0—1323,4	9,52	10,02	2,25	1 607,75	1 417,28	0,0413
139P	1327,0—1327,4	10,02	8,65	2,11	1 436,19	1 180,07	0,0612

Средние значения коэффициента массоотдачи вертикальной поверхности каменной соли в условиях естественной конвекции при температуре 20 °С для керна месторождения Тюз-Гелю (с повышенным содержанием газа внутри кристаллов соли) составляют для скв. UGS 1 Tuz Galu — 0,063 м/ч; для скв. UGS 2 Tuz Galu — 0,0582 м/ч.

Формирование месторождений газовых гидратов, также как и месторождений каменной соли с большим содержанием газа, определяется термодинамическими условиями и наличием газа.

Газовые гидраты относятся к клатратным соединениям, представляющим собой молекулы низкомолекулярных материалов, обычно газов (молекулы-гости), заключенных в полости водного кристаллического каркаса. Это позволяет рассматривать газовые гидраты как объединение наноразмерных объектов (наноструктуры). Известны структуры газовых гидратов с шестью возможными полостями, в которых может помещаться молекула-гость [3—5].

Способность воды образовывать гидраты объясняется наличием в ней водородных связей. Водородная связь заставляет молекулы воды выстраиваться в геометрически правильные структуры.

Природные газовые гидраты (водные клатраты) — кристаллические соединения, образующиеся при определенных термобарических условиях из воды и газа (1).

В гидратах углеводородных газов молекулы газов заполняют структурные пустоты кристаллической решетки, образованной молекулами воды. Аналогично кристаллы каменной соли с полостями внутри кристалла, заполненные газом («по-саженным в клетку»), можно назвать газовыми кристаллами.

Очевидно, что процесс образования газовых кристаллов — это единый самоорганизующийся процесс образования кристаллов с упорядоченными объемными дефектами.

Проницаемость воды через газовые гидраты от $1 \cdot 10^{-20}$ до $5 \cdot 10^{-18}$ м². Проницаемость насыщенного рассола через каменную соль от 10^{-22} до 10^{-20} м².

Известно, что газовые гидраты — одна из форм существования природного газа в недрах (наряду со свободным, водорастворенным и сорбированным), детерминированная термодинамическими и геологическими условиями.

В процессе растворения образцов соли с отскакиванием пластинок соли и выделением газа выпадают тонкие пластинки каменной соли толщиной ~1—2 мм и диаметром ~2—3 мм (пластинки эллипсоидальной формы, иногда большего размера ~4 мм). На протяжении всего времени растворения образца (20 мин.) происходит «отскакивание» пластинок соли от поверхности керна на расстояние до 5 см. Отскатившая пластинка составляет ~9,4% от объема кристалла.

Коэффициент массоотдачи образца с отскакиванием пластинок соли и выделением газа на 30% больше, чем у образцов каменной соли без отскакивания пластинок соли и выделения газа.

Интересно предположение В. Гимма о пребывании углекислого газа в твердом состоянии в калийных пластах и гипотеза Ю.Ф. Макогона о кристаллических газогидратах в угольных пластах [6]. Можно предположить, что в каменной соли газ может находиться в твердом состоянии или в виде кристаллических газогидратов.

Выбросы каменной соли при растворении с повышенным локальным внутренним напряжением (Талаканское месторождение, Республика Саха)

Образцы керна каменной соли, отобранные на незначительном расстоянии друг от друга (Талаканское нефтегазовое месторождение, Республика Саха), проявляют существенно различные свойства массоотдачи при растворении. В частности, было установлено, что данные образцы обладают разными величинами коэффициента массоотдачи.

В процессе растворения образца соли с отскакиванием пластинок соли выпадают тонкие пластинки каменной соли толщиной ~1—2 мм и диаметром 2—3 мм (пластинки эллипсоидальной формы, иногда большего размера ~5 мм). Отскакивание пластинок соли от кристаллов при гидродинамическом воздействии растворителя происходит в результате изменения напряженного состояния приповерхностного слоя каменной соли. На протяжении всего времени растворения образца (20 мин.) происходит отскакивание пластинок соли от поверхности керна

на расстояние до 5 см. На 100 г массопереноса каменной соли количество выпавших пластинок составило ~23,2 г (т.е. ~23,2%).

Коэффициент массоотдачи образца с отскакиванием пластинок соли на 29% больше, чем у образца без отскакивания пластинок соли.

Отскакивание линзовидных пластинок соли с острыми краями, сопровождающееся звуком при растворении каменной соли, — это хрупкое разрушение кристаллов соли (разрушение поверхностного слоя каменной соли) при выбросе пластинок соли или выбросе пластинок соли и газа, которое происходит в результате изменения напряженного состояния породы при воздействии растворителя.

Газовыделения при растворении каменной соли с повышенным содержанием газа в межкристаллическом пространстве и примесях (Лейковское месторождение, Украина)

Значение коэффициента массоотдачи при растворении каменной соли с повышенным содержанием газа увеличивается по сравнению с растворением традиционной соли, и поэтому, несмотря на различные механизмы газопроявлений при растворении каменной соли Лейковского штока и месторождения Тюз-Гелю, значения их коэффициентов массоотдачи достаточно близки.

Исследование газовыделения при массоотдаче и его влияния на процесс строительства выработок-емкостей проводилось при создании подземного хранилища в Лейковском соляном штоке. Газопроявления из каменной соли рассмотрены для различных технологических операций на протяжении всего периода строительства выработок-емкостей, при этом на ряде скважин зафиксированы газопроявления различной степени интенсивности.

Определения на керновом материале из интервалов подземных выработок-емкостей коэффициента массоотдачи вертикальной поверхности каменной соли в воде в условиях естественной конвекции выявили газовыделения, содержащие в основном метан (> 99%).

Фактическая растворимость газа в единице объема рассола при выносе на земную поверхность (C_v) по замерам в рассольной линии (средняя по трем замерам: 23; 20; 25 см³/л) составила 22,66 см³/л (анализы выполнены УКРНИИгазом после окончания строительства резервуара 4Т). Растворимость газа в единице объема рассола при фазовом равновесии (температура +21,5 °С, рассол насыщенный) $C_p = 533$ см³/л. Коэффициент $K_c = C_v/C_p = 4,25\%$.

Максимальное содержание газа при растворении керна Лейковского соляного штока составило 136,26 мл/кг (13,63 мл/100 г). Для каменной соли из Ботубинского месторождения (Республика Саха) газосодержание керна материала — $3,4 \cdot 10^{-5}$ м³/кг (3,36 мл/100 г).

В табл. 3 представлены значения коэффициента массоотдачи вертикальной поверхности каменной соли в воде в условиях естественной конвекции при температуре 20 °С, определенные по керну скважин 3Т—9Т (Лейковский соляной шток).

Таблица 3

**Коэффициенты массоотдачи вертикальной поверхности каменной соли в воде
в условиях естественной конвекции при температуре 20 °С,
определенные по керну скважин 3Т–9Т (Лейковский соляной шток)**

Глубина отбора, м	К, м/ч	Глубина отбора, м	К, м/ч	Глубина отбора, м	К, м/ч
Скважина 3Т		705—710	0,0527	647,0	0,0597
608—620	0,0541	710—715	0,0524	657,5	0,0583
620—625	0,0501	715—720	0,0479	661,0	0,0580
625—630	0,0565		K = 0,0567	665,0	0,0527
630—645	0,0647	Скважина 5Т		674,0	0,0559
645—659	0,0604	645—659	0,0671	684,0	0,0698
659—675	0,0542	691—705	0,0539	691,0	0,0679
675—685	0,0558	716—729	0,0592	701,0	0,0599
685—691	0,0597	740—753	0,0564	713,0	0,0591
691—705	0,0616	767—775	0,0633	720,0	0,0615
705—709	0,0581		K=0,06	723,0	0,0588
	K = 0,0575	Скважина 6Т		681,0	0,0625
Скважина 4Т		612—624	0,0612		K = 0,0598
610—620	0,0591	624—637	0,0605	Скважина 8Т	
620—630	0,0594	637—649	0,0547	637—644	0,0504
630—640	0,0602	649—662	0,0535	658—665	0,0624
640—650	0,0583	662—675	0,0516	665—672	0,0612
650—660	0,0588	675—687	0,0523	672—679	0,0565
670—675	0,0596	687—701	0,0509	679—686	0,0590
675—680	0,0584	701—713	0,0591		K = 0,0579
680—685	0,0579		K = 0,0585	Скважина 9Т	
685—690	0,0562	Скважина 7Т		590—600	0,0601
690—695	0,0585	613,0	0,0016	613—621	0,0561
695—700	0,0581	637,5	0,0458		K = 0,0581
700—705	0,0535	641,0	0,0679		

Средние значения коэффициента массоотдачи вертикальной поверхности керна каменной соли со значительным содержанием газа в условиях естественной конвекции при температуре 20 °С для Лейковского штокового месторождения следующие: из интервала скважины 3Т — 0,0575 м/ч; 4Т — 0,0567 м/ч; 5Т — 0,06 м/ч; 6Т — 0,0585 м/ч; 7Т — 0,0598 м/ч; 8Т — 0,0579 м/ч; 9Т — 0,0581 м/ч.

Методом подземного растворения каменной соли на Лейковском месторождении со значительным содержанием газа построены 10 выработок-емкостей (полезный объем выработок-емкостей по проектному регламенту 50 или 75 тыс. м³). На Лейковском соляном штоке со значительным содержанием газа в межкристаллическом пространстве каменной соли и примесях выявлен фактор увеличения коэффициента массоотдачи каменной соли при растворении примерно на 30% и более быстрого строительства выработок-емкостей (примерно на 10%) по сравнению с расчетными параметрами.

На рис. 3—8 представлены вертикальные сечения (форма) выработок-емкостей, сооруженных на Лейковском месторождении (по материалам звуколокации).

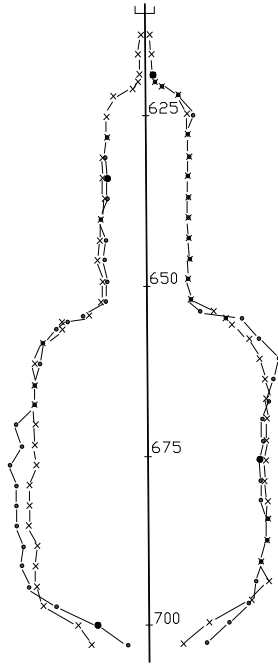


Рис. 3. Вертикальные сечения подземной выработки 4Т по материалам звуколокации.

Сечения: - - - - - юг-север; x - - - - - x запад-восток

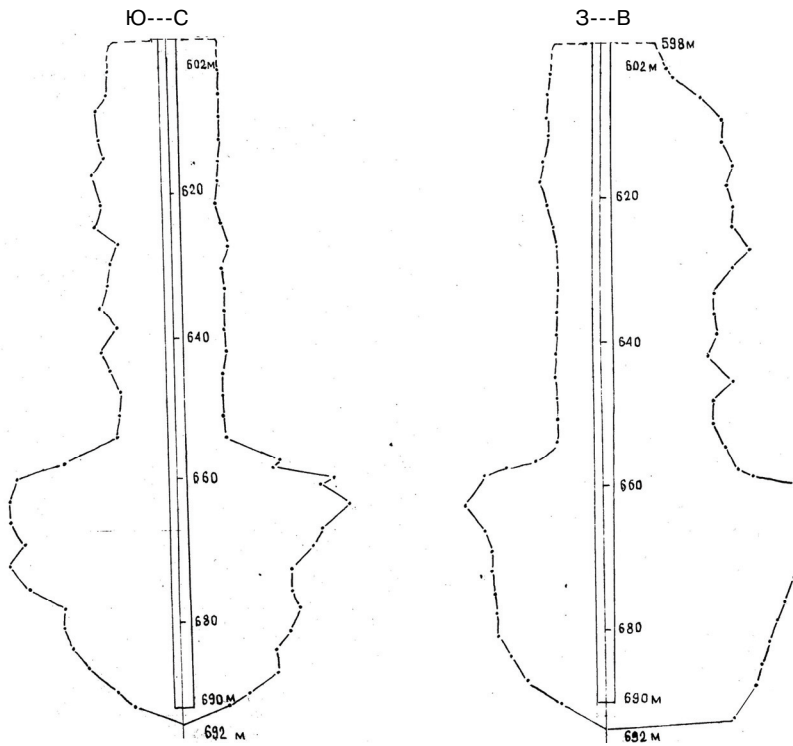


Рис. 4. Форма выработки-емкости 2-Т

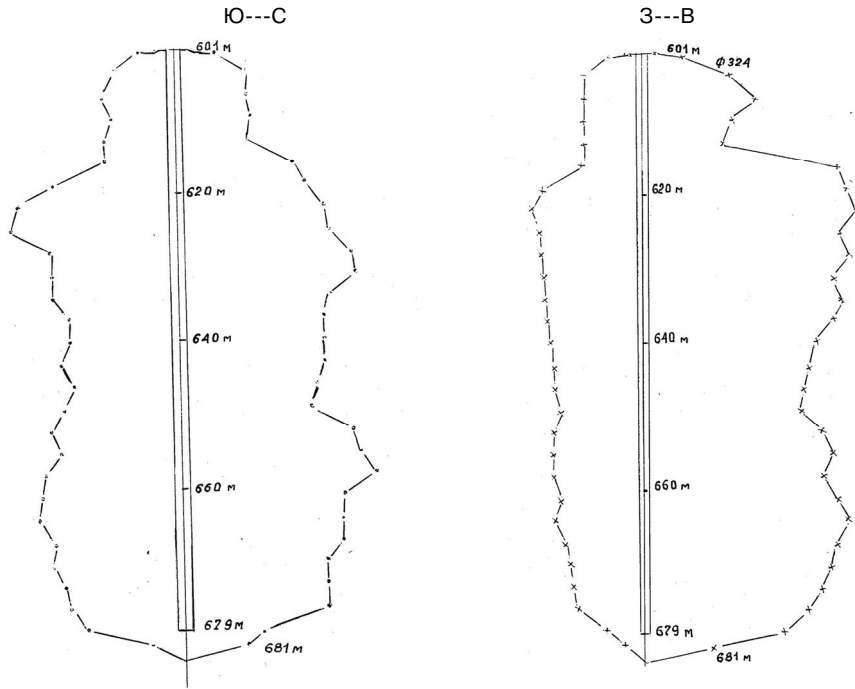


Рис. 5. Форма выработки-емкости 3-Т

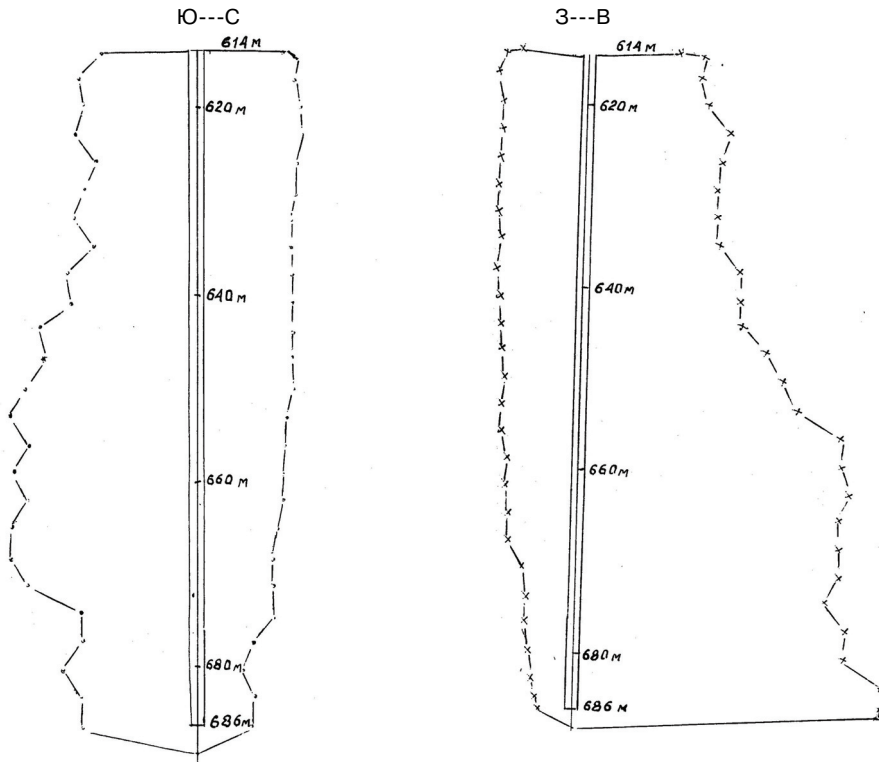


Рис. 6. Форма выработки-емкости 6-Т

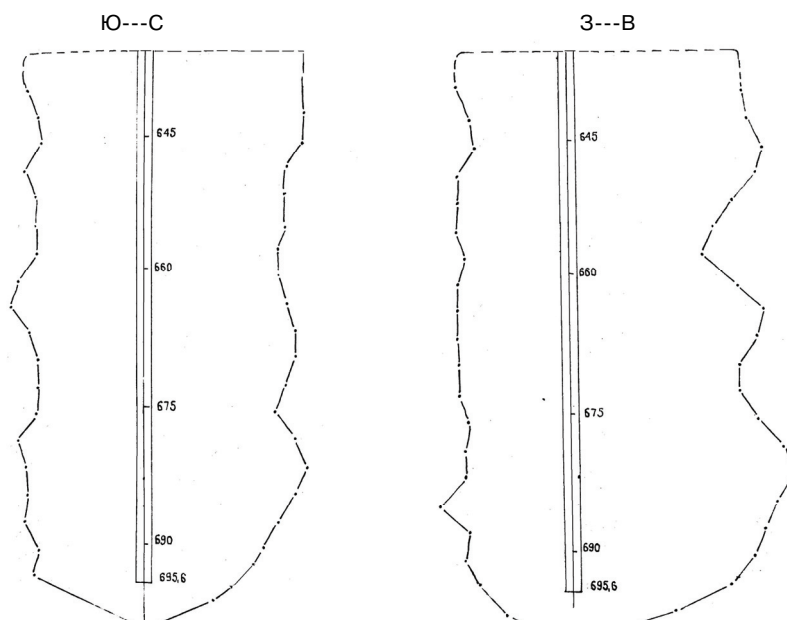


Рис. 7. Форма выработки-емкости 7-Т

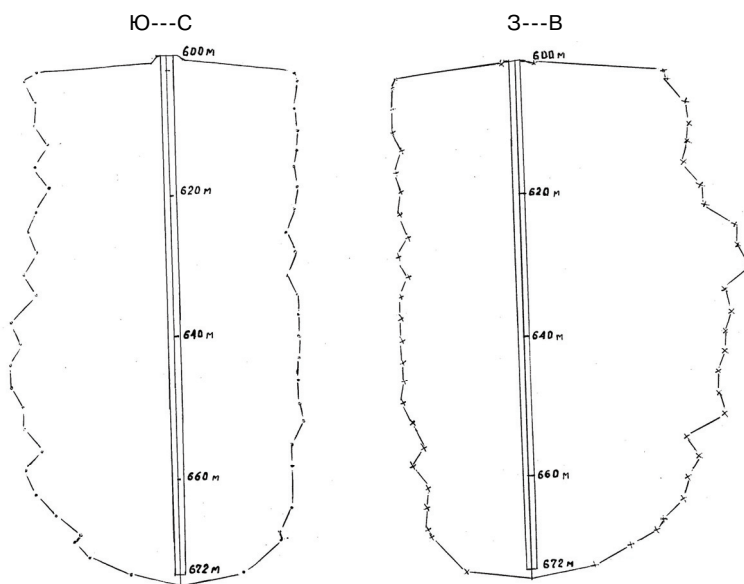


Рис. 8. Форма выработки-емкости 8-Т

По интенсивности газовыделений при растворении соли Лейковского месторождения процесс массоотдачи характеризуется газовыделением из породных включений и из межкристаллического пространства. При растворении образцов керна с Лейковского месторождения отмечено выделение газовых пузырьков диаметром от 2 до 15 мм.

При массоотдаче в процессе газовыделения из каменной соли происходит разрушение ограждающих газ стенок породы в сторону выработки. Процесс разру-

шения приконтурной зоны при газовыделении влияет на параметры пограничного слоя и увеличивает массоотдачу. Величина массоотдачи изменяется в зависимости от количества газа и его давления, а также свойств соли. В процессе массоотдачи при строительстве выработок-емкостей растворением каменной соли газопроявления (газоотдача) являются составной частью массоотдачи.

На рис. 9 представлена линзовидно-слоистая текстура, обусловленная формированием газовых гидратов, внешне похожая на каменную соль со значительным содержанием газа (Лейковское месторождение).

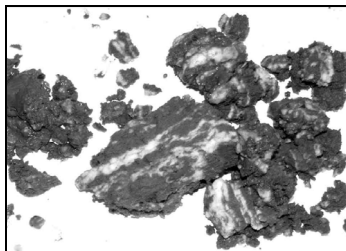


Рис. 9. Линзовидно-слоистая текстура, обусловленная формированием газовых гидратов

Для управления процессом подземного растворения применяется нерастворитель (дизельное топливо).

В процессе массоотдачи из каменной соли выделяются газ и частички нерастворимых включений. В зависимости от стратификации раствора нерастворимые тяжелые частицы опускаются на дно выработки, а легкие частицы вместе с микропузырьками газа поднимаются вверх, в результате чего значительное количество частиц попадает в нерастворитель, существенно изменяя его свойства. Динамика движения в жидкости газовых пузырьков разных размеров различна.

Пузырьки газа в растворе образуют на своей поверхности пленку растворителя. Поднимаясь вверх, пузырьки газа попадают в нерастворитель, и образуется пена. При этом нерастворитель может содержать дизельное топливо, раствор, легкие частицы нерастворимых включений и газ.

Как известно, механизм образования всех пен в основном одинаков и не зависит от способа получения. В зависимости от соотношения фаз пены имеют различную структуру. Сотообразная структура наблюдается, когда пузырьки газа полиэдрической формы (формы многогранников) отделены друг от друга прослойками другой фазы или когда пузырьки газа принимают сферическую форму. При строительстве подземных выработок-емкостей на Лейковском месторождении в извлеченном на поверхность нерастворителе отмечена сферическая форма от газовых пузырьков диаметром 3—4 мм.

В результате исследований впервые установлены эффекты отскакивания пластинок соли с разрывом межкристаллических связей при растворении:

— от поверхности кристаллов соли при проявлении давления газа в полости внутри кристаллов — при локальном внутреннем напряжении, возникшем в результате внутреннего воздействия;

— от поверхности кристаллов соли с локальным внутренним напряжением, возникшим в результате внешнего воздействия.

Установлено увеличение коэффициента массоотдачи при растворении каменной соли с большим содержанием газа, сопровождающееся микроразрушением соли и выделением газа.

При отскакивании пластинок соли в процессе растворения коэффициент массоотдачи увеличивается примерно на 30%.

ПРИМЕЧАНИЕ

- (1) Термин «клатраты» (от лат. *clathratus* сажать в клетку) был предложен Пауэллом в 1948 г.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Malyukov V.P.* The effect of salt burst scaling in solution-mining. 9th International Symposium on Salt. — China. Beijing. 2009. V. 1. P. 610—612.
- [2] *Malyukov V.P.* Analysis of the self-organizing hydrodynamic structures and the topology of the rock salt dissolution relief. 9th International Symposium on Salt. — China. Beijing. 2009. V. 1. P. 640—644.
- [3] *Васильченко А.А.* Модель формирования залежей газа в угольных пластах и глинистых сланцах // Газовая промышленность. — 2011. — № 2.
- [4] *Воробьёв А.Е., Малиюков В.П.* Инновационные технологии освоения месторождений газовых гидратов: Учеб. пособие. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Изд-во РУДН, 2009.
- [5] *Дядин Ю.А., Гуцин А.Л.* Газовые гидраты // Соровский образовательный журнал. — 1998. — № 3. — С. 55—65.
- [6] *Макогон Ю.Ф.* Гидраты природных газов. — М.: Недра, 1974.

EMISSIONS SALT AND GAS AT UNDERGROUND DISSOLUTION

V.P. Malyukov

Department of geology, oilfield, mining and oil and gas business
Peoples' Friendship University of Russia
Podolsk highway, 8/5, Moscow, Russia, 115149

The experimental investigation of the subsurface dissolution of rock salt from the salt and gas emissions, as well as determine the mass-transfer coefficient that characterizes morphogenesis and speed of construction of underground workings to reserve tanks of hydrocarbons.

Key words: rock salt, underground production-capacity of the solvent, nonsolvent, gas, insoluble inclusion, self-hydrodynamic vortex structures, the structure of the surface nanostructure.