

Krasnodar reservoir operating mode on the hydro-geological conditions of the adjacent territories]. Krasnodar, Kubanvodproekt Publ., 1994, 198 p.

8. Pecherkin, I. A. *Teoreticheskie osnovy prognozirovaniya ekzogennykh geologicheskikh protsessov na beregakh vodokhranilishch* [Theoretical basis for predicting exogenous geological processes on the banks of reservoirs]. Perm, 1980.

9. Pogorelov, A. V., Laguta, A. V. *Krasnodarskoe vodokhranilishche: sostoyanie i transformatsiya za period ekspluatatsii* [Krasnodar reservoir: state and transformation during the operation period]. Krasnodar, 2019, iss. 2 (12), pp. 34–42.

10. Shadunts, K. Sh., Tokmachev, Ye. I., Sheremetev, V. M. Prichiny i posledstviya podtopleniya territorii Krasnodara [Causes and consequences of flooding of the territory of Krasnodar]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], 1990, no. 2, pp. 59–66.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОН РАПОПРОЯВЛЕНИЙ АСТРАХАНСКОГО СВОДА

Ушивцева Любовь Франковна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: ushivceval@mail.ru

Знание гидрогеологического строения разреза проектируемых к бурению скважин и безаварийной проводки всегда актуальны, поскольку возникновение осложнения в процессе бурения и их ликвидация приводит к удорожанию и увеличению сроков строительства. В разрезе Астраханского сводового поднятия присутствует мощная толща каменных солей кунгурского яруса, при вскрытии которой отмечаются: пластическое перемещение солей и вязких пластичных глин, которые вызывают смятие обсадных колонн; поглощение глинистого раствора в межсолевых пластах, рапопроявления, прогноз и характеристика которых являются наиболее важным моментом. В настоящей статье рассмотрены приуроченность и гидрогеологическая характеристика зон рапопроявлений солевой части разреза Астраханского сводового поднятия. Рассмотрены и проанализированы условия формирования рапонасыщенных пластов, факторы, влияющие на рапопроявления, гидрохимическая характеристика рассолов, особенности литологического состава и фильтрационных свойств внутрисолевых пород. Были сделаны выводы, что наличие рапонасыщенных пластов в толще солей, их толщина, количество, величина пластового давления, запас энергии обуславливают дебиты рапы и влияют на процесс строительства скважин, выбор конструкции, выработке геолого-технических мероприятий по их ликвидации.

Ключевые слова: солянокупольная тектоника, внутрисолевые пласты, гидродинамически изолированные объекты, рапопроявления, аномально-высокие пластовые давления, хлоркальциевые рассолы, дебит рапы, трещинная проницаемость

HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF NATURAL BRINE SHOW ZONES WITHIN THE ASTRAKHAN ARCH

Ushivtseva Lyubov F., Ph. D. in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., 414000, Astrakhan, Russian Federation, e-mail: ushivceval@mail.ru

Knowledge about the hydrogeological section of wells to be drilled as well as trouble-free running procedure are always essential, since complications during drilling and their elimination lead to costs and construction period increase. As it is known, there is thick mass of stone salts of the Kungurian stage in the section of the Astrakhan arched uplift, and once it is penetrated, the following is observed: plastic movement of salts and viscous plastic clays, which cause casing collapsing; mud loss in intra-salt layers; natural brine

shows; forecast and characteristic of these events are the most important aspect. The present article considers association and hydrogeological features of natural brine show zones in the salt section of the Astrakhan arched uplift. *Originality.* We consider and analyse conditions of natural brine layers formation, factors effecting natural brine shows, hydrochemical characteristics of brines, features of lithology and filtration properties of intra-salt rocks. *Summary.* The presence of natural brine layers in the salts mass, their thickness, quantity, level of formation pressure, energy margin determine natural brine flow rate and effect well construction process, construction design, development of P&A interventions.

Keywords: salt-dome tectonics, intra-salt layers, hydrodynamically isolated objects, natural brine show, abnormally high formation pressure, calcium chloride brines, brine flow rate, fracture permeability

Продуктивный комплекс отложений башкирского яруса среднего карбона перекрывается толщей кунгурских солей и надсолевым комплексом отложений, осложненных проявлением солянокупольной тектоники.

Кунгурские отложения в пределах свода представлены иреньским и филлиповским горизонтами. Иреньский горизонт характеризуется значительными колебаниями толщин, составляющими от 0 м в бессолевых мульдах до 3–4 км в сводах наиболее высокоподнятых соляных куполов. Строение иреньского горизонта весьма неоднородно. В целом кунгурскую толщу можно разделить на три пачки [5; 8].

Верхняя, гипсо-ангидритовая, представляет собой кепрок, сложенный гипсами, ангидритами, терригенными породами, толщина которого составляет от 5 до 110 м, реже больше, вскрывается в сводовой части высокоподнятых соляных куполов.

Средняя пачка представлена преимущественно каменной солью с редкими внутрисолевыми пластами терригенных и сульфатных пород, а также породами сложного состава сульфатно-галогенного, галогенно-терригенного (т. н. галопелиты). Лабораторные исследования кернового материала образцов соли показывают, что в составе солей наряду с хлоридом натрия присутствуют нерастворимые остатки, представленные глинистыми и сульфатными разностями, которые могут достигать до 19,2 % на глубине около 2500 м и до 17,8–22,9 % на глубине 3700 м [6].

Нижняя пачка сложена солью часто чередующейся с пластами различной литологии: терригенными (глинами, аргиллитами), терригенно-сульфатными, сульфатно-терригенными, терригенно-карбонатными и сульфатными породами (ангидритами, гипсами). Причем, последние в разрезе преобладают. В самой нижней части присутствует пачка солей толщиной от 10 до 30 м. Ниже залегают породы филлиповского нефтегазонасыщенного горизонта, где выделены два продуктивных пласта – R2 и R1, перекрытых и разделенных пачкой ангидритов.

Соотношение толщины средней и нижней пачек в разрезе скважин на различных участках соляных куполов различно. В пределах соляных куполов и их присводовых частей, где толщина иреньского горизонта большая, средняя пачка преобладает и её толщина в 2–4 раза больше нижней. На участках спокойного, почти горизонтального залегания кунгурских солей их толщины приерно одинаковы, а в мульдовых частях присутствует только нижняя пачка. Исходя из глубины залегания кровли кунгурского яруса, разрабатывается конструкция скважин (глубина спуска первой технической колонны) и выбор параметров глинистого раствора в проектах на строительство скважин.

Анализ рапопроявлений в пределах Астраханского свода показал, что наибольшая часть осложнений фиксируется в средней и нижней пачках. Подавляющее большинство рапопроявлений (78,8 %) по статистике отмечено в интервале глубин 3200–3800 м, в пределах которых выделяется три рапоносных комплекса I, II, III [1; 7; 8]. Наибольшим распространением пользуется третий рапоносный комплекс, толщина которого колеблется от 10 до 280 м, вскрытый и проявивший себя более чем в 35 скважинах (76 %). Зона с максимальной интенсивностью проявления комплекса протягивается с северо-запада на юго-восток, охватывая участки УППГ-1, 2, 4, 9 (рис. 1). Дебиты рапы в отдельных скважинах этой зоны достигали 144–3000 м³/сут. Большинство рапопроявлений отмечено в скважинах, расположенных на склоновых частях куполов. Количество и толщина рапонасыщенных пластов, составляющих рапоносный комплекс, контролируется глубиной залегания поверхности соли, положением скважины на структуре (рис. 2, 3) [4; 8].

Наличие внутри соли пластов глин, аргиллитов, терригенно-сульфатных, сульфатно-терригенных, терригенно-карбонатных пород, изолированных в кровле и подошве солями или ангидритами, одновременно с изменением их по простиранию, создаёт условия для образования изолированных гидродинамических систем (линз), заполненных маточными рассолами бассейна осадконакопления, о чём свидетельствуют химические анализы рапы (табл. 1, 2) [8].

Химический состав рапы имеет большое значение для проектирования скважин в условиях рапопроявлений. К сожалению, при рапопроявлениях всё внимание сосредоточено на его ликвидации и анализы рапы практически не отбираются, что является следствием их слабой изученности.

Рапонасыщенный пласт представляет собой многофазную гидродинамически изолированную систему, состоящую из межкристаллического порового раствора с минерализацией более 300 г/дм³, плотностью 1200–1300 кг/м³ и температурой 100–101 °С, растворимых солей галита, сульфата кальция, хлоридов магния и кальция, высокодиспергированных глинистых частиц. Подъём рапы на поверхность по стволу скважины приводит к кристаллизации солей, осаждению их на стенках скважины, постепенному сужению ствола, образованию соляно-шламовой пробки и, следовательно, самозакупорке пласта [3; 5].

В большинстве имеющихся проб рапы хлор-ион преобладает над суммой натрия и калия $rNa + K / rCl = 0,72–0,96$; кальций-ион превышает магний-ион $rCa/rMg = 0,036–10,7$; соотношение $rCl-(Na + K)/rMg = 1,03–12,4$; коэффициент сульфатности $rSO_4/rCl \cdot 100 = 0,11–0,47$, что свидетельствует о низкой сульфатности рапы; хлор-бромный коэффициент $rCl/rBr < 300$. Согласно классификации В. А. Сулина, рассолы кунгурской толщи представляют собой типичные рассолы хлоркальциевого гидрохимического типа (табл. 1) [6], за исключением рассола скважины 3 Аксарайской. Высокое содержание иона магния 7239,97 мг-экв/дм³ (88,04 мг/дм³) и аномально низкое содержание ионов натрия и калия 313,43 мг-экв/дм³ (7209,0 мг/дм³) позволяют отнести рассол этой скважины к хлоридно-магниевому типу, что, вероятно, обусловлено наличием тонкого прослоя калийно-магниевых солей в разрезе скважины.

Однако хлоридно-магниевый тип рапы в пределах Астраханского свода отмечен лишь в единичных скважинах, а большей частью такие рассолы развиты в западной части Прикаспийской впадины, где имеются мощные пласты бишофитовых и калийных солей.

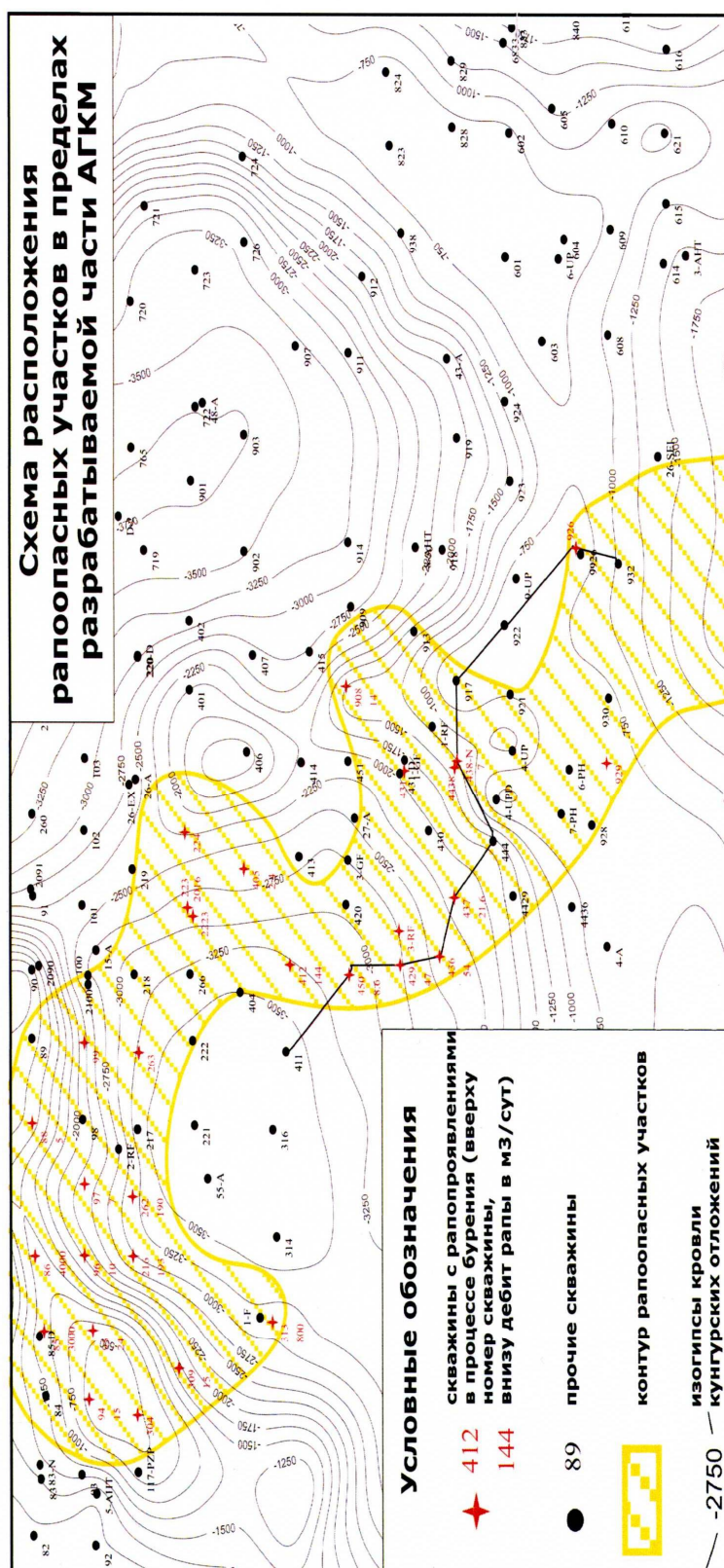


Рис. 1. Схема распространения рапоопасных участков

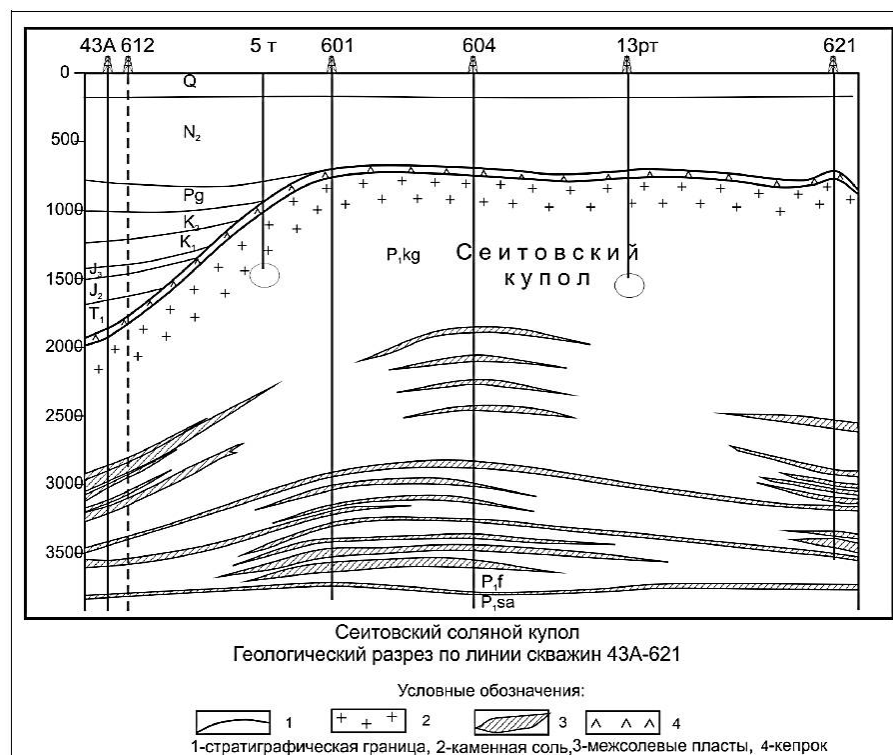
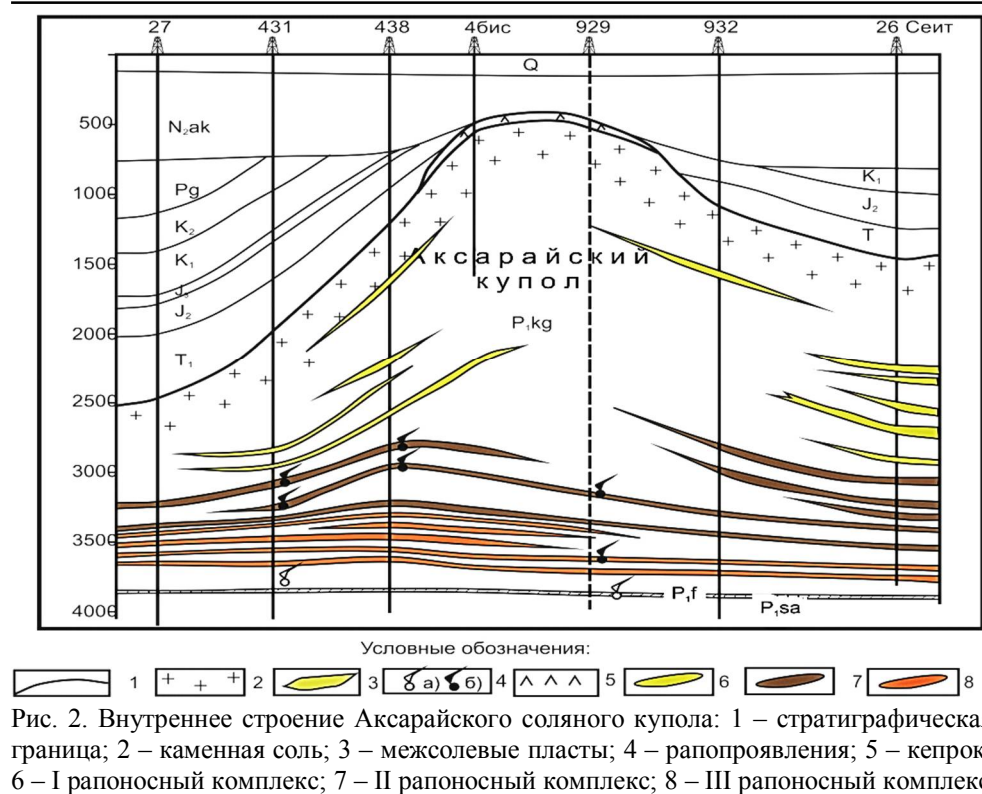


Рис. 3. Внутреннее строение Сеитовского соляного купола: 1 – стратиграфическая граница; 2 – каменная соль; 3 – межсоловые пласты; 4 – кепрок

Таблица 1
Состав рассолов кунгурских отложений юго-западной части Прикаспийской впадины

№ скважины, площадь	Глубина рапопроявления, м	Минерализация, г/лм ³	Плотность рапы, кг/м ³	Химический состав рапы							мг/дм ³		
				Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	(Na + K) ⁺	Σan + cat	J	Br	B ₂ O ₃
1 Восточно-Сарпинская	3049	311	1215	5418,18	13,46	8,4	1230	380	3830,04	10880,08	165	623,6	—
2 Чарлактинская	2478	336	1250	7000	1,37	40	5650	850	441,4	13982,77	—	—	—
1 Астраханская	3790	311,8	1205	5300	24,98	14	229,56	30,02	5088,96	10687,52	1,48	799,2	80,06
3 Астраханская	3873	344,9	1203	5900	14,75	18,40	149,7	200,34	5583,11	11866,3	—	—	—
3 Аксарайская	3733	378,15	1280	7801,58	15,04	5,39	259,98	7239,97	313,43	15635,39	—	—	—
10 Астраханская	3302	335,2	1222	5799,51	6,62	1,60	1040,0	120,0	4646,39	11614,12	—	—	—
923 Астраханская	3608	324,6	1215	5680	7,8	4,5	1280	280	4066,4	11318,70	—	—	—
20 Астраханская	3503	330,6	1215	5760	8,49	4,0	920	480	4328,71	11501,2	25,3	976,4	12,0
85 Астраханская	3432	325	1213	5600	7,54	1,20	1000	240	4283,92 + 80,99	11213,65	—	37,6	—
86 Астраханская	3298	315	1195	5399,8	11,5	2,8	639,9	59,9	4710,2	10824,10	—	—	520
602 Астраханская	3535	323,8	1214	5680	9,77	4,0	1100	440	4100	11333,77	—	—	—
2 Цвелевская	2182	446	1230	5200	0,03	1460,6	1240	220	5235,89	13356,52	—	—	—

Таблица 2
 Гидрохимические показатели рассолов кунгурских отложений юго-западной части Прикаспийской впадины

№ скважины, площадь	Глубина рапопроявления, м	Минерализация, г/дм ³	Плотность рапы, кг/м ³	Содержание микроэлементов, мг/дм ³			Гидрохимические показатели				
				I	Br	B ₂ O ₃	Na + K / rCl	rCa / rMg	rCl-(rNa + K) / rMg	rSO ₄ / rCl * 100	rCl / Br * 100
1 Астраханская	3790	311,8	1205	1,48	799,2	80,06	0,96	7,34	7,04	0,47	235
3 Астраханская	3873	344,9	1203	–	–	–	0,95	0,75	1,58	0,25	–
3 Аксарайская	3733	378,15	1280	–	–	–	0,04	0,036	1,03	0,19	–
10 Астраханская	3302	335,2	1222	–	–	–	0,80	8,65	9,58	0,11	–
923 Астраханская	3608	324,6	1215	–	–	–	0,72	4,59	5,54	0,14	–
20 Астраханская	3503	330,6	1215	25,38	976,4	12,0	0,75	1,92	2,98	0,15	209
85 Астраханская	3432	325,2	1213	–	1331,9	–	0,78	4,17	5,06	0,13	149
86 Астраханская	3298	315	1195	–	–	520,6	0,86	10,7	12,4	0,20	–
602 Астраханская	3535	324,6	1215	–	–	–	0,72	4,59	5,54	0,14	–

Как свидетельствуют данные таблиц, внутрисолевые рассолы имеют высокую концентрацию солей до 311–446 г/дм³. Их состав, в основном, определяется стадией сгущения, которой достигала рапа бассейна осадконакопления при отложении солей и, соответственно, различна для отдельных интервалов соляного разреза, и ореолом сходных фациальных условий галогенеза. Эти рассолы неравновесны относительно вод, залегающих выше и ниже соли, поэтому доминирующие в них наиболее характерные макро- и микрокомпоненты эвапоритов (K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Br) могут служить коррелятивами для выявления межгоризонтных перетоков вод. При этом в кунгурских рассолах преобладает бром и бор, йод содержится в незначительном количестве [6].

Кунгурские рассолы, не имея разгрузки во внутрисолевых пластах, обладают аномально высокими пластовыми давлениями, изменяющимися в широких пределах и характеризующихся коэффициентами аномальности от 1,5 до 2,3. Дебиты рапы при вскрытии таких гидродинамически изолированных систем с АВПД колеблются в широких пределах от первых единиц до 3000 м³/сут и более.

Пластовые давления, измеренные в отдельных скважинах при рапопроявлении, изменяются от 65 (скв. 1 Астраханская) до 80 МПа (скв. 3 Аксарайская).

Важным фактором, обуславливающим значительные дебиты рапы, служит трещинная проницаемость внутрисолевых пород, их хорошие коллекторские свойства, несмотря на значительные глубины залегания; толщина и протяженность рапонасыщенного пласта (линзы), энергия и объём вмещающей рапы. Для ликвидации рапопроявлений преимущественным способом является повышение плотности раствора или разрядка пласта. Однако нередко ни тот, ни другой способ не приводят к положительному результату. Так, разгрузка рапы в течение 45 суток в скважине № 436 и других скважинах (№ 438, 4438, 412, 2223 и др.) не привела к положительному результату даже при снижении дебита рапы до 5–8 м³/сут., что не позволило продолжить бурение и скважины были ликвидированы.

Важным гидрогеологическим показателем является отсутствие полного истощения залежей рапы, что может указывать на гидродинамическую сообщаемость рапоносных пластов, о чём свидетельствуют вновь увеличивающиеся дебиты. Главным свойством раповмещающих пластов является то, что даже после продолжительного её излива давление в пласте остаётся выше, чем в подстилающем горизонте.

Положительный результат при разрядке рапоносного пласта может быть получен только в случае локального линзовидного скопления рапы с малой энергией и запасом рапы (скв. № 85), а в случае площадного развития рапонасыщенных пластов это не приносит успеха. Так, объём извлечённой рапы в процессе разрядки в скважине № 412 составил около 9000 м³, однако разрядить пласт до конца так и не удалось и скважину ликвидировали [6; 7].

При повторном вскрытии пласта (раскольматации) дебиты рапы в скважине резко увеличиваются, а дальнейшее увеличение плотности раствора не позволяет ликвидировать осложнение, а вызывает новое осложнение – поглощение. Примером могут служить скважины № 436, 438, 223, 4438, 2223, 405. Технологические операции, проводимые во время осложнения (СПО, промывки с утяжелением плотности раствора, проработки ствола)

способствуют поглощениям и прихватам инструмента и, как правило, данная скважина ликвидируется.

Хорошие коллекторские свойства внутрисолевых пород подтверждаются не только высокими дебитами рапы, но и поглощениями глинистого раствора при вскрытии отдельных из них. Примером могут служить скважины № 309 (объем поглощения в межсолевых пластах составил 45 м³), № 603 (объем поглощения – 159,0 м³), № 532 (объем поглощения – 121,3 м³), № 4438 (объем поглощения – 934 м³). Причем в разрезе одной скважины могут чередоваться как поглощающие, так и рапопроявляющие пропластки с различными коэффициентами аномальности пластового давления, что создаёт трудности при ликвидации осложнений. В большинстве случаев при ликвидации возникшего рапопроявления повышение плотности глинистого раствора приводит к микрогидро разрыву пласта и поглощению, что обуславливает осложнение типа «рапопроявление – поглощение», ликвидировать которое практически невозможно, и тогда скважина ликвидируется [2; 6; 7].

Формирование скоплений рассолов в пределах гидродинамически изолированных пластов связывается [1; 3] с погружением межсолевых высокопористых глинистых осадков, которое сопровождалось отжатием из них захороненных маточных рассолов. Отсутствие вертикальной и затруднённой латеральной миграции вод способствовало формированию АВПД. Перекрывающие пласты отложения каменной соли и прочных ангидритов являются непроницаемым экраном.

В настоящее время для картирования рапонасыщенных пластов стала применяться новая эффективная технология – метод низкочастотного сейсмического зондирования, что позволяет на предпроектной стадии работ давать прогноз вскрытия пластов с АВПД и, тем самым, заранее разработать необходимые геолого-технические мероприятия, повысить эффективность бурения скважин, свести к минимуму время на ликвидацию рапопроявлений и довести скважину до проектного забоя.

Список литературы

1. Свиницкий, С. Б. Механизм образования рассолов с АВПД в галогенной толще АГКМ / С. Б. Свиницкий, М. С. Гаджиев // Проблемы комплексного освоения Астраханского газоконденсатного месторождения. – Москва : ВНИИЭгазпром, 1987. – С. 20–22.
2. Свиницкий, С. Б. Результаты прогнозирования геологических параметров соленосного разреза на Астраханском ГКМ / С. Б. Свиницкий, В. М. Юрченко // Строительство газовых и газоконденсатных скважин. – Москва : ВНИИгаз, 1993. – С. 102–106.
3. Севастьянов, О. М. Подземные рассолы юго-западного Прикаспия / С. Б. Свиницкий // Состав и условия образования морских и континентальных галогенных формаций. – Новосибирск : Наука, 1991. – С. 53–58.
4. Ушивцева, Л. Ф. Модель геологического строения кунгурского разреза и прогнозирование зон рапопроявлений территории Астраханского свода и прилегающих территорий / Л. Ф. Ушивцева // Разведка и освоение нефтяных и газоконденсатных месторождений. – Астрахань : АстраханьНИПИгаз, 2001. – С. 14–16.
5. Ушивцева, Л. Ф. Влияние инженерно-геологических особенностей соляных массивов на формирование техногенеза в недрах Астраханского свода / Л. Ф. Ушивцева // Приложение к журналу «Наука и техника в газовой промышленности». – Москва, 2005. – С. 55–119.

6. Ушивцева, Л. Ф. Рапоносные линзы в соляных породах Западного Прикаспия: распространение, строение, состав / Л. Ф. Ушивцева, Л. А. Анисимов. – Москва : Газойл, Газовая промышленность, 2009. – С. 47–49.
7. Ушивцева, Л. Ф. Геолого-технологические условия проводки скважин в условиях рапопроявлений / Л. Ф. Ушивцева // Геология, география и глобальная энергия. – 2011. – № 2. – С. 71–74.
8. Ушивцева, Л. Ф. Литолого-фациальные особенности нижнепермской галогенной формации юго-западной части Прикаспийской впадины / Л. Ф. Ушивцева // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2003. – № 1. – С. 14–17.

References

1. Svintsitskiy, S. B., Gadzhiev, M. S. Mekhanizm obrazovaniya rassolov s AVPD v galogennoy tolshchi AGKM [The mechanism of formation of brines with AVPD in the halogen stratum of the AGCF]. *Problemy kompleksnogo osvoeniya Astrakhanskogo gazokondensatnogo mestorozhdeniya* [Problems of integrated development of the Astrakhan gas condensate field]. Moscow, VNIIEgazprom Publ., 1987, pp. 20–22.
2. Svintsitskiy, S. B., Yurchenko, V. M. Rezultaty prognozirovaniya geologicheskikh parametrov solenosnogo razreza na Astrakhanskom GKM [Results of predicting the geological parameters of a saline section at the Astrakhan gas condensate field]. *Stroitelstvo gazovykh i gazokondensatnykh skvazhin* [Construction of gas and gas condensate wells]. Moscow, VNIlgaz Publ., 1993, pp. 102–106.
3. Sevastyanov, O. M. Podzemnye rassoly yugo-zapadnogo Prikaspiya [Underground brines of the southwestern Caspian]. *Sostav i usloviya obrazovaniya morskikh i kontinentalnykh galogennykh formatsiy* [Composition and conditions for the formation of marine and continental halogen formations]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, pp. 53–58.
4. Ushivtseva, L. F. Model geologicheskogo stroeniya kungurskogo razreza i prognozirovaniye zon rapoproyavleniy territorii Astrakhanskogo svoda i prilgayushchikh territoriy [Model of the geological structure of the Kungur section and forecasting of the zones of occurrence of the territory of the Astrakhan arch and adjacent territories]. *Razvedka i osvoenie neftyanykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy* [Exploration and development of oil and gas condensate fields]. Astrakhan, AstrakhanNIPIgaz Publ., 2001, pp. 14–16.
5. Ushivtseva, L. F. Vliyaniye inzhenerno-geologicheskikh osobennostey solyanykh massivov na formirovaniye tekhnogeneza v nedrakh Astrakhanskogo svoda [The influence of geotechnical features of salt masses on the formation of technogenesis in the bowels of the Astrakhan arch]. *Prilozhenie k zhurnalu "Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti"* [Supplement to the journal "Science and Technology in the Gas Industry."]. Moscow, 2005, pp. 55–119.
6. Ushivtseva, L. F., Anisimov, L. A. *Raponosnye linzy v solyanykh porodakh Zapadnogo Prikaspiya: rasprostraneniye, stroeniye, sostav* [Carnivorous lenses in salt rocks of the Western Caspian: distribution, structure, composition]. Moscow, Gazoyl Publ., Gazovaya promyshlennost Publ., 2009, pp. 47–49.
7. Ushivtseva, L. F. Geologo-tekhnologicheskie usloviya provodki skvazhin v usloviyakh rapoproyavleniy [Geological and technological conditions for drilling wells under conditions of development]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2011, no. 2, pp. 71–74.
8. Ushivtseva, L. F. Litologo-fatsialnye osobennosti nizhneperskoy galogennoy formatsii yugo-zapadnoy chasti Prikaspiyskoy vpadiny [The lithologic-facial features of the Lower Perm halogen formation of the southwestern part of the Caspian depression]. *Yuzhno-Rossiyskiy vestnik geologii, geografii i globalnoy energii* [South Russian Bulletin of Geology, Geography and Global Energy], 2003, no. 1, pp. 14–17.