

НАУЧНАЯ ОСНОВА ВЫБОРА ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ ЮЖНО- КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ ПРИ ИХ ЗАВОДНЕНИИ МОРСКОЙ ВОДОЙ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ГЮНЕШЛИ»)

Ф.С. Исмаилов, Ф.М. Гаджиев
НИПИнефтегаз ГНКАР, Баку, Республика Азербайджан
E-mail: office.ogpi@socar.az

В настоящее время основная часть добываемой ПО «Азнефть» нефти приходится на долю месторождения «Гюнешли», расположенного в Азербайджанском секторе Каспийского моря и введенного в промышленную разработку в 1985 г.

С начала разработки до 2009 г. из залежи свиты «Перерыва» (СП), которая является основным объектом добычи нефти, извлечено около 160 млн т жидкости (147 млн т нефти и 12.5 млн т воды) и закачено в нее для поддержания пластового давления 28 млн т морской воды. Нефтепромыслово-гидрогеологические исследования месторождения «Гюнешли», проведенные в 2010 г., показали высокую степень обводненности залежи СП, обусловленную ее интенсивной разработкой и низкой компенсацией добываемой жидкости нагнетаемой водой, которая не превышала 17.5%, в результате чего пластовое давление снизилось на 50%. В центральной части залежи пластовое давление опустилось ниже давления насыщения газа, и скважины перешли на фонтанирование газом или прекратили фонтанировать нефтью.

Анализ текущих состояний разработки залежи СП показывает, что без соответствующих геолого-технических мероприятий и усовершенствования системы заводнения повысить эффективность добычи остаточных извлекаемых запасов невозможно. Поэтому возникла необходимость предусмотреть закачку в СП более 16 тыс. м³/сут морской воды Каспия, что превышает объем добычи жидкости (15.5 тыс. м³/сут), и разработать эффективный метод контроля и регулирования процесса заводнения.

Заводнения залежей нефти, начавшиеся в 1933 г. в США, в 1942 г. в Казахстане и в 1947 г. в Азербайджане являются широко распространенными методами повышения нефтеотдачи пластов. Эффективность заводнения зависит в значительной степени от применяемых методов контроля и регулирования, среди которых гидрогеохимический является одним из основных.

Гидрогеохимический метод контроля процесса заводнения залежей нефти впервые был разработан и применен Ш.Ф. Мехтиевым, А.Р. Ахундовым, Е.А. Ворошиловым в 1969 г. в Азербайджане, А.М. Никаноровым, А.Н. Шалаевым и др. в 1973 г. на Северном Кавказе. Исходными материалами для разработки метода служили результаты химических анализов смесей различных жестких, щелочных пластовых вод с закачиваемыми морскими, пластовыми, озерными, речными водами и нефтепромысловые геолого-гидрогеологические данные, позволившие подсчитать скорости движения воды, определить зону охвата закачиваемой водой залежи, осадкообразование при смешивании пластовых и закачиваемых вод, а также ряд других вопросов разработки. Однако работы вышеуказанных и других исследователей показывают, что химические составы смесей различных вод значительно отличаются друг от друга и зависят от объемного соотношения и условия смешивания и др. показателей.

А.Р. Ахундовым, Ш.Ф. Мехтиевым, У.Ш. Мехтиевым и М.З. Рачинским на примере нефтяных месторождений Апшеронского нефтегазоносного района (Балаханы-Сабунчи-Рамана, Сураханы, Бибиэйбат, Гала, Бинагади, Пираллахи, Бузовна-Маштаги и др.) показано, что полученные результаты не корректно применять для контроля и регулирования процесса разработки других, особенно вновь открытых, залежей, отличающихся своими геолого-гидрогеологическими условиями от вышеуказанных.

Поэтому для повышения эффективности разработки залежи СП месторождения «Гюнешли» возникла необходимость проведения специальных гидрогеохимических исследований смеси пластовой и морской воды Каспия по выбору и научному обоснованию критериев контроля и регулирования процесса заводнения.

Известно, что на морских нефтегазоконденсатных месторождениях Азербайджанской Республики, в том числе по залежи нефти СП месторождения «Гюнешли», при осуществлении искусственного воздействия в качестве рабочего агента для заводнения применяется вода Каспийского моря.

Химические составы морской Каспийской и пластовой воды основного объекта разработки месторождения «Гюнешли» СП нижнего плиоцена значительно отличаются друг от друга.

Закачиваемая в СП вода Каспийского моря относится по классификации В.А. Сулина к сульфатно-натриевому (СН) типу с минерализацией 12.9 г/л и содержит (г/л): $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - 3.29$, $\text{Ca}^{+2} - 0.36$; $\text{Mg}^{2+} - 0.66$; $\text{Cl}^- - 5.17$; $\text{SO}_4^{2-} - 3.05$; $\text{HCO}_3^- - 0.21$; CO_3^{2-}

– 0.05; RCOO^- – 0.1; $\text{HВ}_4\text{O}_7^-$ – 0.04. По характеристике Пальмера I соленость воды (S_1) составляет 66.43, II соленость воды (S_2) – 30.79, II щелочность (A_2) – 2.78 %-экв, коэффициент $r\text{Na}/r\text{Cl}$ – 0.98.

Пластовая вода СП по классификации В.А. Сулина относится к гидрокарбонатно-натриевому типу (ГКН) с минерализацией 36.2 г/л. Содержание основных компонентов составляет (г/л): $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ – 12.22, Ca^{+2} – 0.05; Mg^{2+} – 0.1; Cl^- – 13.9; SO_4^{2-} – 0.5; HCO_3^- – 5.3; CO_3^{2-} – 0.96; RCOO^- – 2.5; $\text{HВ}_4\text{O}_7^-$ – 0.7. По Пальмеру I соленость воды (S_1) составляет 74.2, I щелочность – (A_1) – 23.8, II щелочность (A_2) – 2.0 %-экв, коэффициент $r\text{Na}/r\text{Cl}$ = 1.36.

Для определения характера происходящих процессов при смешивании пластовой и морской вод были проведены лабораторные исследования химического состава смеси пластовой воды СП с морской Каспийской в различных соотношениях. Согласно результатам исследования, при наличии в смеси воды Каспийского моря в объеме 80% и более она, так же как морская вода Каспия, относилась к СН-типу. По характеристике Пальмера смешанная вода была жесткая со второй соленостью 9.37 – 18.80 %-экв. При уменьшении указанной доли морской воды Каспия в смеси тип смешанной воды менялся с СН на ГКН. С увеличением доли пластовой воды в смеси до 20% жесткость уменьшалась от 18.8 до 9.37 %-экв; дальнейшее увеличение в смеси содержания пластовой воды ~до 25% приводило к уменьшению второй солености (S_2) до нуля и появлению в смеси первой щелочности (A_1), которая возрастала от 3.5 %-экв при содержании в смеси пластовой воды 30% и до 23.1 %-экв – при 90%. По мере увеличения доли пластовой воды в смеси от 10 до 90% степень минерализация последних возрастала от 15.3 до 32.9 г/л.

Сопоставление минерализации, содержаний отдельных компонентов и характеристик смесей вод, полученных в лабораторных испытаниях с соответствующими теоретически рассчитанными их значениями, показало, что они отличаются друг от друга. Для выявления причин и природы отклонений (ошибок) содержания отдельных ионов в смесях от соответствующих теоретически рассчитанных их значений был осуществлен статистический анализ отклонений. По результатам статистического анализа, особенно по среднему значению отклонений (ошибок), выделяются две группы ионов. В первую группу входят анионы Cl^- , SO_4^{2-} , RCOO^- и $\text{HВ}_4\text{O}_7^-$, которые характеризуются средним отклонением от – 0.11 (Cl^-) до 0.73 (RCOO^-),

во вторую – анионы HCO_3^- , CO_3^{2-} и катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} со средним отклонением от – 8.91 (HCO_3^-) до 3.3 (CO_3^{2-}). Относительно небольшие и разнонаправленные отклонения содержания ионов Cl^- , SO_4^{2-} , RCOO^- и $\text{HВ}_4\text{O}_7^-$ от теоретически рассчитанных их значений позволяют отнести их к случайным, а довольно значительные однонаправленные уменьшения содержания ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- и увеличения CO_3^{2-} – к систематическим ошибкам. Случайные ошибки связаны с точностью определения ионов, систематические – с химическими реакциями между анионами HCO_3^- , CO_3^{2-} и катионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , в результате которых происходит выпадение в осадок карбоната кальция, магния и выделение CO_3^{2-} . Наибольшее отклонение фактического содержания ионов Ca^{2+} и HCO_3^- отмечается в смеси морской и пластовой воды, соотношением от 30 : 70 до 70 : 30%, где фактическая концентрация иона Ca^{2+} меньше теоретически рассчитанной на 95 ÷ 166 мг/л (4.75 – 8.3 мг-экв/л), иона HCO_3^- на 395 – 743 мг/л (6.5 – 12.2 мг-экв/л). При этом, по мере увеличения в смеси доли пластовой воды от 10 до 40 %, содержание в смеси CO_3^{2-} несколько уменьшается (19 ÷ 77 мг/л – 0.3 ÷ 1.3 мг-экв/л), выше 40% – возрастает и в смеси пластовой и морской воды в соотношениях 50 : 50 составляет 336 мг/л (11.0 мг-экв/л), 60 : 40 – 115 мг/л (1.9 мг-экв/л), 70 : 30 – 215 мг/л (3.6 мг-экв/л), 80 : 20 – 242 мг/л (4.0 мг-экв/л) и 90 : 10 – 211 мг/л (3.5 мг-экв/л), что связано с разложением образующихся гидрокарбонатов щелочноземельных металлов – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ на CO_3^{2-} , H_2O и нерастворимых в воде карбонатов CaCO_3 , MgCO_3 . В результате происходит уменьшение в смеси содержания ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- и увеличение – концентрации CO_3^{2-} .

Осаждение солей происходит в основном при смешивании пластовой и морской воды, в процентных объемных соотношениях от 70 : 30 до 40 : 60 соответственно. При этом наибольшее количество карбонатов щелочноземельных металлов, отмеченное на уровне 0.9–1.0 г/л, осаждается при смешивании пластовой воды с морской, в процентных объемных соотношениях 60 : 40 и 50:50 соответственно.

На основе установленной закономерности изменения содержания иона хлора при смешивании пластовой воды СП месторождения «Гюнешли» с водой Каспийского моря в различных объемных соотношениях составлена номограмма для определения процентного объемного соотношения их смешивания, представленная на рисунке.

На оси ординат с правой стороны отмечается точка А, соответствующая содержанию иона хлора в пластовой воде (в данном случае в пластовой воде СП

месторождения «Гюнешли» – 36.2 г/л), которая соединяется с точкой М – соответствующей содержанию иона хлора в воде Каспийского моря (5.2 г/л) на оси ординат с левой стороны. Далее, с точек C_1 , C_2 и т.д. на оси ординат, соответствующих содержанию иона хлора в смешанной воде (так, например, при $C_1 = 9.7$, $C_2 = 7.8$ г/л), проводится параллельная оси абсцисс линия до ее пересечения с предыдущей линией АМ, и из точки пересечения этих линий с линией АМ (C'_1, C'_2) опускается перпендикуляр к оси абсцисс. Точка пересечения перпендикуляров C'_1O_1 и C'_2O_2 , с осью абсцисс (O_1, O_2) соответствует процентному объемному соотношению смешиваемых вод: в приводимых случаях точка O_1 соответствует смешиванию пластовой воды СП с морской в соотношениях 50 : 50, а точка O_2 – в соотношениях 30 : 70.

Выводы:

– по мере увеличения процентной доли морской воды в смеси происходит увеличение содержания ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} с одновременным уменьшением концентрации ионов $Na^+ + K^+$, Cl^- , HCO_3^- , $RCOO^-$, $NH_4O_7^-$. Такая направленность изменения содержания вышеуказанных ионов химического состава смеси является надежным показателем влияния закачиваемой воды Каспийского моря в СП месторождения «Гюнешли»;

– смесь пластовой воды СП месторождения «Гюнешли» с морской Каспийской не стабильна;

– наибольшее количество выпадающих в осадок карбонатов щелочноземельных металлов в количестве ~1 г/л отмечается в смеси пластовой воды СП и морской Каспийской в соотношениях 50 : 50 и 60 : 40;

– изменение содержания иона Cl^- в смешанной воде является надежным критерием определения доли пластовой и морской воды в обводненных скважинах и зоны охвата залежи нефти СП закачиваемой водой Каспия;

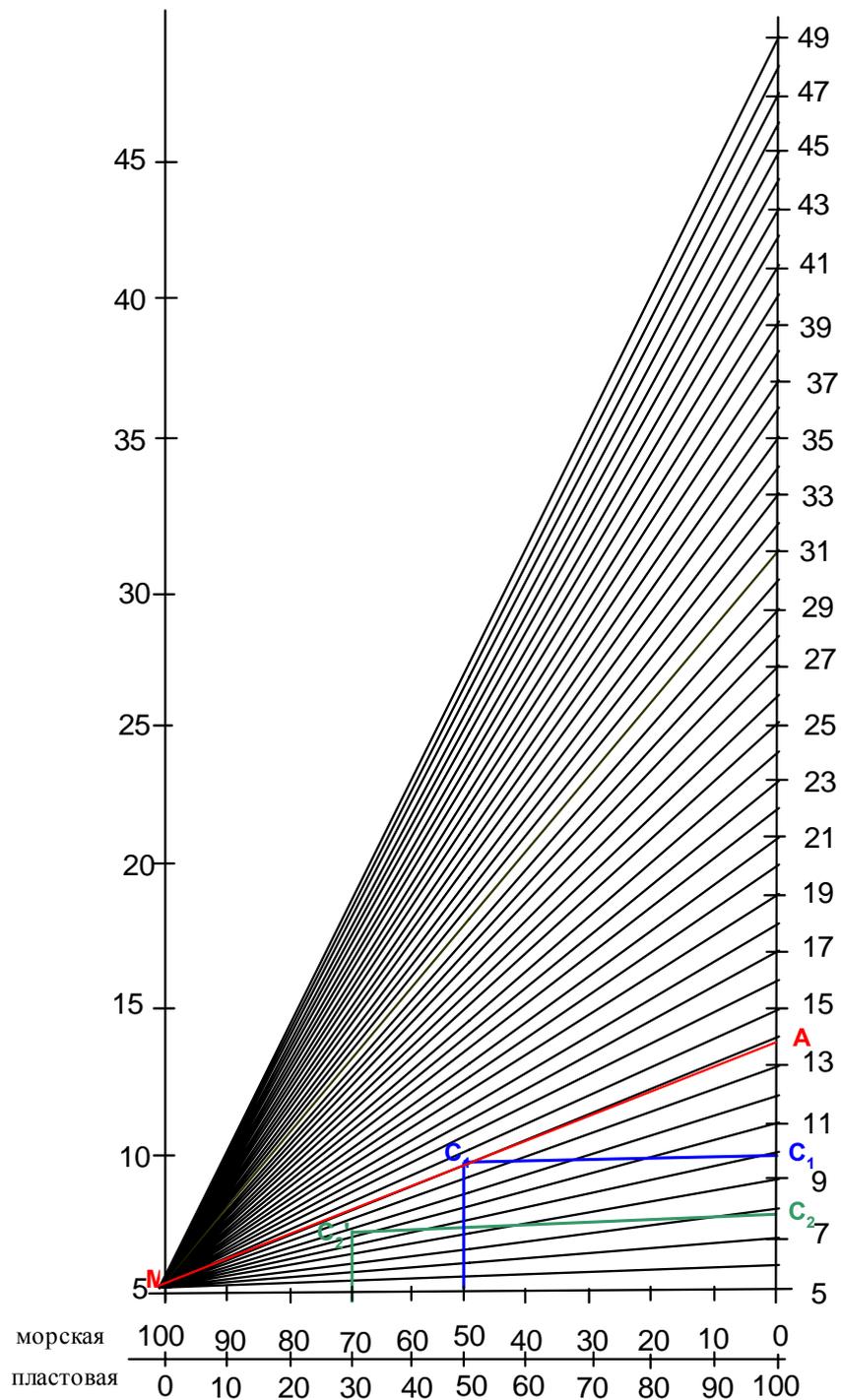


Рис. Номограмма определения процентного объемного соотношения смешивания пластовой воды СП месторождения "Гюнешли" с водой Каспийского моря по изменению содержания иона Cl^-

результаты проведенных гидрогеохимических исследований могут быть использованы для контроля и регулирования процесса заводнения других залежей (месторождений) Южно-Каспийской впадины морской водой (Глубоководная часть Гюнешли, Чыраг, Азери и др.);

- составленная номограмма позволяет определить процентную долю морской воды Каспия в смешанной с достаточно высокой точностью и может быть использована для контроля и регулирования процесса разработки других месторождений Южно-Каспийской впадины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ахундов А.Р., Мехтиева У.Ш., Рачинский М.З.* Справочник по подземным водам нефтегазовых и газоконденсатных месторождений Азербайджана. Баку: Маариф, 1976. 327 с.
2. *Карцев А.А., Никаноров А.М.* Нефтегазопромысловая гидрогеология. М: Недра, 1983. 200 с.
3. *Карцев А.А., Вагин С.Б., Шугрин В.П., Брагин Ю.И.* Нефтегазовая гидрогеология. М.: Нефть и газ, 2001. 258 с.
4. *Мехтиева Ш.Ф., Ахундов А.Р., Ворошилов Е.А.* Влияние искусственного заводнения на гидрохимию нефтяного пласта. Баку: Маариф, 1969. 343 с.
5. *Мехтиева Ш.Ф., Ахундов А.Р., Ворошилов Е.А.* Практические вопросы нефтепромысловой гидрогеологии. Баку: Элм, 1975. 186 с.
6. *Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Статистика, 1975. 264 с.
7. *Тейлор Дж.* Введение в теорию ошибок: пер. с англ. М.: Мир, 1985. 271 с.