

## **ВЛИЯНИЕ ЗАКАЧИВАЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА**

*Николай Сергеевич Трифонов*

Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории физико-химических исследований керна и пластовых флюидов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 30, инженер научно-образовательного центра «ВОДА», e-mail: Trifonovnik@mail.ru

Рассматриваются результаты моделирования гидрогеохимических процессов, протекающих между нагнетаемыми водами и пластом-коллектором. Для примера приводятся исследования совместимости: 1) подлежащих утилизации промстоков Юрубчено-Тохомского месторождения в отложения осинского горизонта (Восточная Сибирь); 2) используемых для поддержания пластового давления подземных вод апт-сеноманских отложений с пластовыми водами и породой продуктивных отложений Первомайского месторождения (Западная Сибирь).

**Ключевые слова:** гидрогеохимия, подземные воды и рассолы, осадочные процессы, вода-порода.

## **THE INFLUENCE OF INJECTED INDUSTRIAL WASTES ON GROUNDWATERS OF PETROLEUM FIELDS**

*Nikolai S. Trifonov*

Tomsk Affiliate of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and geophysics SB RAS, Russia, 634055, Tomsk, Academic PR. 3, Ph. D., Senior Researcher of the Laboratory of physico-chemical studies of core samples and formation fluids; Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave 30, Engineer of the academic center «VODA», e-mail: Trifonovnik@mail.ru

We consider results of modeling of the hydrogeochemistry between injected waters and reservoir. The compatibility studies are described of: 1) The Yurubcheno-Tokhomo field industrial effluents subjected to disposal in the Osa aquifer sediments (East Siberia); 2) Aptian-Cenomanian groundwaters used to maintain formation pressure with formation waters and rock of the Pervomayskoe field pay zone (West Siberia).

**Key words:** hydrogeochemistry, groundwaters and brines, sedimentary processes, water-rock.

Закачка вод в глубокие водоносные комплексы (при утилизации стоков либо при организации системы поддержания пластового давления) вызывает изменение естественных гидрогеологических условий. Для прогнозирования этих изменений нужно иметь представление о физико-химических процессах, возникающих при смешении закачиваемых вод с пластовой водой и при взаимодействии этой смеси с вмещающей породой пласта-коллектора.

В последнее время у специалистов гидрогеологов/гидрогеохимиков появился мощный и удобный инструмент – компьютерные программы для моделирования химических взаимодействий в системе вода-порода [2].

Как в России, так и за рубежом в настоящее время имеется большое число программных продуктов гидрогеохимического направления, многие из которых последовательно развиваются и совершенствуются уже в течение нескольких десятилетий. Такие программы все чаще применяются на практике, что уже более 15 лет назад позволило В.Н. Озябкину говорить о зарождении нового «вычислительного» направления в гидрогеохимии [4]. К собственно гидрогеохимическому программному обеспечению среди отечественных программ могут быть отнесены геохимические моделирующие системы: HCh (“GIBBS”) Ю.В. Шварова, “СЕЛЕКТОР” И.К. Карпова и К.В. Чудненко, SOXXXX В.Н. Озябкина. Среди зарубежных программ гидрогеохимического направления преобладают WATERQ4F, PHREEQE, SOLMINEQ, MINTEQA4.00, EQL\_EVP и др. [2].

В эту группу входит и применяемый автором программный комплекс HydroGeo [1], объединяющий одновременно набор гидродинамических и гидрогеохимических модулей и не имеющий, в отличие от большинства других, ограничений по минерализации вод.

Для качественной и количественной характеристики процессов, протекающих в пласте при закачке в него воды, в программном комплексе HydroGeo применяется условная упрощенная 3D-модель фильтрации, протекающей между нагнетательной скважиной и пластом-коллектором.

Общий сценарий моделирования при этом состоит из следующих этапов:

- пересчет анализов всех используемых вод при стандартных (лабораторных) условиях для восстановления баланса электронейтральности;
- определение необходимого состава ионных ассоциатов, которое проводится серией предварительных вычислений с учетом максимально возможного их числа, после чего ассоциаты, не образующие в рассматриваемой системе сколько-нибудь значимых концентраций, из нее исключаются;
- изменение термодинамических условий раствора на пластовые;
- ввод минерального состава и фильтрационно-емкостных свойств пласта-коллектора;
- восстановление равновесия пластовой воды с породой при начальных РТ-условиях пласта;
- собственно 3D-моделирование геомиграции, включающее одновременный расчет гидродинамики, геотермии и гидрогеохимических процессов в движущемся потоке с учетом их кинетики [5].

Поступающие в пласт воды образуют смесь с подземной пластовой водой и нарушают существовавшее до этого равновесие между подземной водой и породой, и вызывают новые процессы физико-химического взаимодействия разного характера и направленности. Переход веществ в закачиваемые воды и в смесь закачиваемых и пластовых вод происходит в результате выщелачивания и растворения породы. Вынос из закачиваемых вод и их смеси с пластовыми осуществляется за счет сорбции, а также осадкообразования [3].

Так, например, при исследовании совместимости закачиваемых производственных стоков (имеющих минерализацию до 6 г/дм<sup>3</sup> и характеризующихся щелочной реакцией с дебитом 2200 м<sup>3</sup>/сут) Юрубчено-Тохомского нефтегазокон-

денсатного месторождения с пластовыми водами осинского водоносного горизонта Восточной Сибири (имеющих минерализацию порядка  $350 \text{ г/дм}^3$ , слабокислую реакцию и насыщенных карбонатами кальция и магния) происходит растворение галита и ангидрита и выпадение в осадок кальцита, доломита и магнезита.

Результаты моделирования указывают на то, что закачка слабоминерализованных вод в отложения осинского горизонта может привести к растворению больших объемов галита (рис. 1, а). Менее интенсивно (ввиду меньшей растворимости), но тем не менее в значительных количествах происходит растворение ангидрита (рис. 1, б).

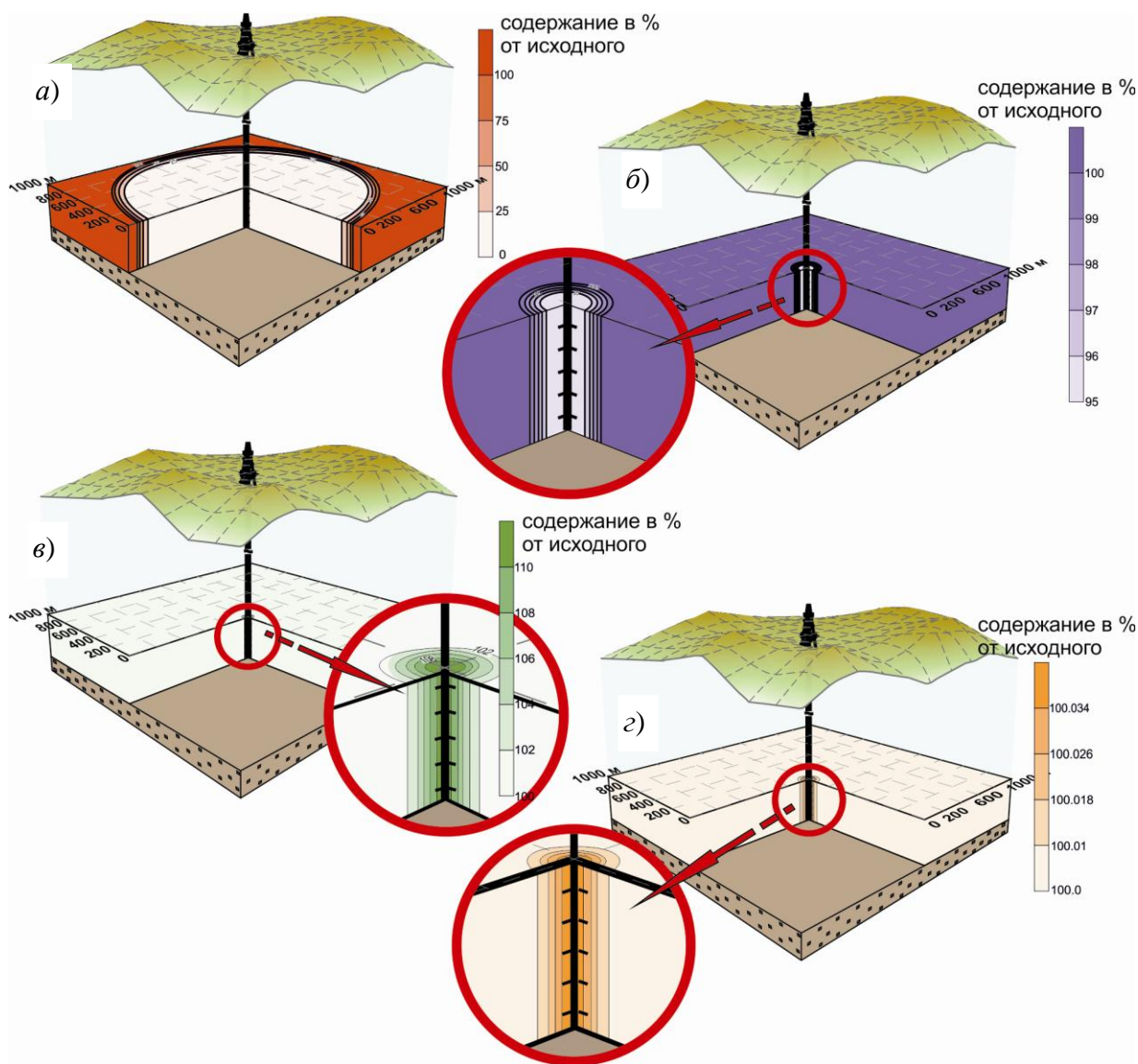


Рис. 1. Результаты 3D-моделирования изменения минерального состава (а – галита, б – ангидрита, в – кальцита, г – доломита) коллектора осинского горизонта при закачке в него производственных стоков

Что касается процессов вторичного минералообразования, то они могут развиваться при высоких значениях рН, поэтому сосредоточены вблизи ствола нагнетательной скважины. Результаты моделирования свидетельствуют о возможности образования вторичного (техногенного) кальцита вблизи от ствола

нагнетательной скважины (рис. 1, в). Масштабы образования доломита значительно меньше (рис. 1, г). Избежать данного негативного процесса можно путем выравнивания рН закачиваемой и пластовой вод. Это подтверждается результатами моделирования закачки в тот же горизонт попутно извлеченных нефтяных вод, согласно которым количество вторичных карбонатных минералов уменьшается на порядок [5].

Для Западной Сибири минеральный состав пластов-коллекторов кардинально отличается от восточносибирских. Породы представлены песчаниками, алевролитами и глинами, поэтому гидрогеохимические процессы, протекающие в пласте при техногенном воздействии на него закачиваемыми водами, связаны в основном с растворением алюмосиликатов и одновременным образованием вторичных карбонатов (кальцита, доломита и сидерита), глин (монтмориллонитовых) и сульфатов.

В качестве примера можно привести моделирование закачки в пластовые воды отложений васюганской свиты Первомайского месторождения подземных вод апт-сеноманских отложений, используемых для поддержания пластового давления. Ввиду отсутствия информации по расходам закачиваемых вод расчеты осуществлялись без учета времени взаимодействия для разных пропорций смешения пластовых вод продуктивных отложений (А) и подземных вод апт-сеноманских отложений (В), а результаты этих расчетов характеризуют не действительное, а максимально возможное в данных условиях выпадение солей (рис. 2).

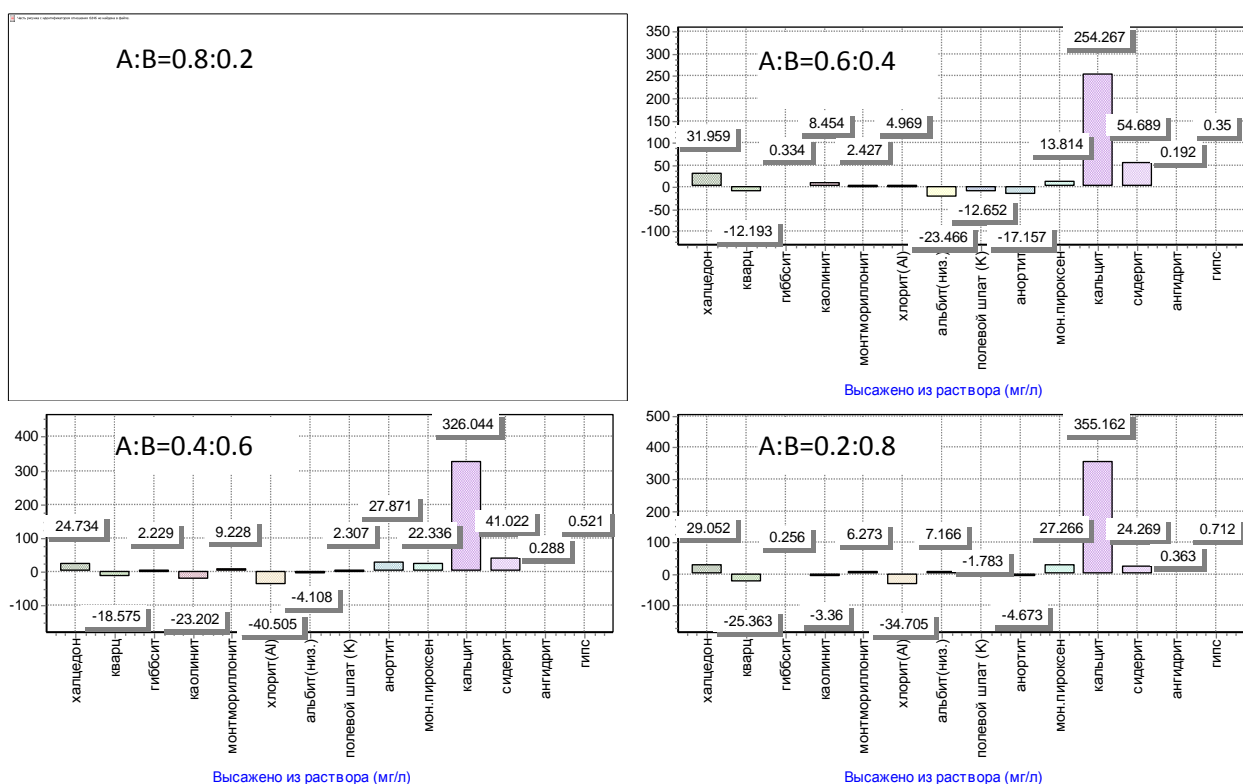


Рис. 2. Выпадение (положительные значения) и растворение (отрицательные значения) минералов в продуктивном пласте для разных пропорций смешения пластовых вод продуктивных отложений (А) и подземных вод апт-сеноманских отложений (В), используемых для поддержания пластового давления

Техногенные геохимические изменения состава вод и породы пласта, полученные по данным моделирования, свидетельствуют о преобладании процессов вторичного минералообразования над процессами растворения породы коллектора (из каждого литра раствора количество новообразованных минералов на 120-380 мг превышает количество растворенных), что указывает на возможность постепенного снижения фильтрационно-емкостных свойств пласта и приемистости нагнетательной скважины (рис. 2).

Каждый цикл промыва приводит к сравнительно небольшому изменению состава породы, но многократные его повторения могут привести к довольно существенному преобразованию минерального состава породы пласта коллектора и ее пористости. Последняя постепенно уменьшается, приводя к соответствующему изменению фильтрационно-емкостных свойств. Но для уверенной и точной оценки возможности растворения или осаждения минералов в коллекторе необходимы более детальные исследования взаимодействия закачиваемых подземных вод апт-сеноманских отложений, используемых для поддержания пластового давления, с пластовыми водами и породой коллектора на основе создания 3D-модели, учитывающей объем и расход закачиваемых вод.

В каждом конкретном случае гидрогеохимические процессы, протекающие в пласте при техногенном воздействии на него закачиваемыми водами, будут иметь свои особенности и отличительные черты. Если качественную характеристику этих процессов можно дать путем анализа состава закачиваемых и пластовых вод, а также состава вмещающих горных пород, то количественную – только посредством компьютерного физико-химического моделирования на специализированном программном обеспечении.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия ТПУ. Геология поиски и разведка полезных ископаемых Сибири. - 2002. - Т. 305. - Вып. 6. - С. 348-365.
2. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: в 5 томах. Т. 1: Система вода-порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / В.А. Алексеев [и др.]; отв. редактор тома С.Л. Шварцев; ОИГГМ СО РАН [и др.]. - Издательство СО РАН, 2005. - С. 171-175.
3. Гидрогеологические исследования для обоснования подземного захоронения промышленных стоков / Под ред. В.А. Грабовникова. - М.: Недра, 1993. - 335 с.
4. Озябкин В.Н., Озябкин С.В. Программные имитаторы для моделирования геохимической миграции неорганических загрязнений // Геоэкология. - 1996. - № 1. - С. 104-120.
5. Трифонов Н.С., Новиков Д.А., Ямских А.А. Гидрогеологические предпосылки закачки промышленных стоков при освоении первоочередного участка Юрубчено-Тохомского месторождения // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. - 2014. - № 2. - С. 131-145.

© Н. С. Трифонов, 2016