

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**Изучение характера насыщения воробьевских отложений среднего  
девона по данным радиоактивного каротажа  
(на примере Степновского ПХГ)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 403 группы очной формы обучения  
геологического факультета  
направление 05.03.01 «Геология»  
профиль «Нефтегазовая геофизика»  
Малаева Дамира Хакимжановича

Научный руководитель

кандидат геол.-мин.наук, доцент

\_\_\_\_\_

М.В. Калининкова

подпись, дата

Зав. кафедрой

кандидат геол.-мин.наук, доцент

\_\_\_\_\_

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Саратов 2023

**Введение.** На территории Саратовской области расположен целый ряд старейших природных хранилищ газа (ПХГ). При этом значительное количество скважин имеют большой срок эксплуатации более 25 лет, к числу таких природных хранилищ газа относится Степновское ПХГ (СПХГ).

Степновское газонефтяное месторождение, открытое в 1953 году, расположено в Саратовской области на юго-восточном склоне Русской платформы в пределах Рязано-Саратовского прогиба. По результатам разведочного бурения на Степновском месторождении выявлена промышленная нефтегазоносность отложений среднего девона и нижнего карбона. Запасы газа Степновского месторождения составили 30228млн.м<sup>3</sup>.

В настоящее время наиболее продуктивными являются газонасные отложения ардатовского ( $D_2IV^a+IV^b$ ) и воробьевского ( $D_2V+VI$ ) горизонтов среднего девона. Пласты-коллекторы – мощные толщи кварцевых мелкозернистых, плотноцементированных песчаников, с прослоями аргиллитов, алевролитов и глин. Средняя пористость коллекторов – 20%, проницаемость – 500-600 мД и выше. В настоящее время, являясь мощным подземным резервуаром, обладая высокой пористостью и проницаемостью, имеющие надежную крышку, пласты-коллекторы  $D_2V+VI$  и  $D_2IV^a+IV^b$  используются в качестве подземных хранилищ газа.

Поскольку их эксплуатация связана с сезонными отбором газа и его закачкой, то для долговременной и надежной эксплуатации необходимо осуществлять контроль за заполнением закачки газа в пласты-коллекторы методами ГИС. Основными методами, с помощью которых решается задача определения коэффициента газонасыщения ( $K_g$ ) являются методы радиоактивного каротажа (гамма - каротаж (ГК), нейтронный гамма - каротаж (НГК), импульсный нейтронный гамма-каротаж (ИНГК).

**Целью** выпускной квалификационной работы является выявление состояния газонасыщения воробьевских отложений среднего девона на Степновском ПХГ в период закачки газа по данным радиоактивного каротажа (РК).

Данная цель подразумевает решение следующих задач:

- изучить геолого-геофизическую характеристику СПХГ;
- охарактеризовать методы РК (ГК, НГК и ИННК) применяемые на СПХГ;
- изучить методику интерпретации методов РК по эксплуатационной скважине № 320 СПХГ;
- определить газонасыщенность исследуемого пласта D<sub>2</sub>V по методам РК.

В настоящей выпускной квалификационной работе было написано три раздела:

- 1 Геолого-геофизическая характеристика района работ;
- 2 Методика выполнения работы;
- 3 Результаты работы.

**Основное содержание работы. Первый раздел «Геолого-геофизическая характеристика района работ».**

Степновское газонефтяное месторождение расположено на левобережье р.Волги, в административном отношении – на территории Советского района Саратовской области в 55км восточнее г.Энгельс.

Разрез Степновского месторождения сложен отложениями девонской, каменноугольной и пермской систем палеозойской эратемы, юрской и меловой систем мезозойской эратемы, неогеновой и четвертичной систем кайнозойской эратемы.

Территория Саратовского Поволжья расположена на юго-восточном склоне Русской платформы в пределах Рязано-Саратовского прогиба.

Советско-Степновский вал, протягивающийся в северо-западном направлении по южному склону древнего Балаковско-Пугачевского свода, является положительной структурой второго порядка, осложненной рядом локальных структур третьего порядка, расположенных в виде двух тектонических линий – Степновско-Фурмановской и Советско-Генеральской.

Степновская структура третьего порядка находится в Степновско-Фурмановской дислоцированной зоне, в пределах которой выделено пять локальных поднятий (с юго-востока на северо-запад): Любимовское, Степновское, Первомайское, Восточно-Суловское и Фурмановское, расположенных гипсометрически одно выше другого.

В результате проведенных работ на Степновском месторождении выявлена промышленная нефтегазоносность отложений эйфельского и живетского ярусов среднего девона, заволжского, малевского и бобриковского горизонтов нижнего карбона.

### **Второй раздел «Методика выполнения работы».**

В методике выполнения работы дается краткое описание методов радиоактивного каротажа (РК), такие как гамма-каротаж(ГК), нейтронно-гамма каротаж(НГК) и импульсный нейтрон-нейтронный каротаж (ИННК).

Во всех горных породах в небольших количествах присутствуют радиоактивные элементы. Содержание радиоактивных элементов в различных горных породах, а, следовательно, и интенсивность испускаемых ими ядерных излучений различны. Потому, регистрируя их, можно судить о типе горных пород, пройденных скважиной. Метод исследования геологического разреза скважин, основанный на регистрации излучений, испускаемых естественно радиоактивными элементами горных пород, носит название метода естественной радиоактивности. Поскольку обычно альфа- и бета-лучи, имеющие малый пробег в веществе полностью поглощаются буровым раствором и корпусом скважинного снаряда, а индикатора достигают лишь гамма-лучи, этот метод называют также гамма-методом и сокращенно обозначают ГМ.

При изучении нейтронным гамма-методом (НГМ) регистрируют гамма-излучение, образующееся при захвате тепловых нейтронов ядрами горной породы (гамма-излучение радиационного захвата).

Интенсивность этого излучения в однородной среде уменьшается при удалении от источника примерно по такому же закону, что и интенсивность нейтронов, однако несколько медленнее. Количество гамма-квантов, достигающих детектора, прямо пропорционально количеству нейтронов, поглощаемых единицей объема в зоне расположения детектора, и числу квантов, образующихся при захвате одного нейтрона.

При импульсных нейтронных методах источник испускает нейтроны в течение сравнительно коротких интервалов времени  $\Delta T \leq 100 - 200 \text{ мкс п.}$  Такие импульсы источника повторяются периодически с периодом  $T = 10^{-3} - 10^{-1} \text{ с}^{-1}$ , то есть  $10 - 10^3$  раз в 1 с.

С помощью специальной схемы — временного анализатора регистрация излучения осуществляется не непрерывно, а лишь в некоторые (специально выбранные) интервалы времени.

При определении ГВК наиболее информативны нейтронные методы в силу резкого различия водородосодержания водоносных газоносных коллекторов. Положение ГВК находят одним из следующих способов.

1. По началу увеличения показаний нейтронного гамма-метода или метода плотности тепловых нейтронов в случае слабоглинистых коллекторов и небольшой зоны проникновения фильтрата промывочной жидкости

2. По превышению показаний НГМ или ННМ-Т большого зонда  $I_n \text{ б}$  по сравнению с малым зондом  $I_n \text{ м}$  (методика двухзондового НГМ или ННМ-Т).

3. По наличию приращений на кривых НГМ или ННМ-Т, зарегистрированных в разное время зондами одной длины (методика временных замеров). Этот способ особенно эффективен в случае пластов со значительной зоной проникновения (больше радиуса исследования зондов НГМ или ННМ-Т). Разделение газоносной и водоносной частей пласта

основано на явлении расформирования зоны проникновения газоносного коллектора в обсаженной скважине.

При этом предпочтение отдается НГМ в силу его большего радиуса исследования и наличия плотностного эффекта на вторичное гамма излучение из-за разности плотностей газоносного и водоносного пластов при идентичности их коллекторских свойств. В особо сложных случаях определения ГВК возможно по данным ИНМ-Т (время жизни тепловых нейтронов в газоносной части разрез выше, чем в водоносной).

Текущее положение ГВК устанавливается по результатам геофизических исследований необсаженных или обсаженных неметаллической колонной оценочных и контрольных скважин аналогично тому, как определяются границы первоначального положения ВНК.

В обсаженных неперфорированных скважинах положение ГВК устанавливается по кривым нейтронных методов на основе различного содержания водорода в газоносной и водоносной частях коллектора. Так, на кривых НГМ, ННМ-Т, ННМ-НТ, ИННМ и ИНГМ газоводяной контакт отмечается повышенными показаниями регистрируемой интенсивности против газоносной части пласта по сравнению с водоносной независимо от минерализации подстилающих вод. Аналогичная картина получается при определении текущего положения ГВК в перфорированных скважинах по кривым нейтронных методов.

**Третий раздел «Результаты работ».** Соответствие с целью ВКР был исследован комплекс методов ГИС по эксплуатационной скважине Степновского ПХГ смотреть приложение Е. Характеристика конструктивных элементов скважины № 320.

По данным ГИС-бурения (КС, ПС, НГК) был выделен пласт- коллектор в интервале 2099-2120 м., общей мощности 21 м . В его пределах выделяются 27 пропластков мощностью от 0.4 до 1.5 м. Прямыми качественными признаками данного пласта на диаграммах ГИС являются низкие значения разности потенциалов на диаграмме ПС (65-105 Ом), высокие значения интенсивности гамма-излучения на диаграмме НГК и максимальные значения сопротивления пласта на диаграмме потенциал зонда (ПЗ).

Данный интервал был выбран в качестве рабочего под закачку газа. По возрасту он относится к воробьевским отложениям среднего девона  $D_2V$ , по литологии представлен песчаником с низкими значениями глинистости ( $K_{гл}$  изменяется в пределах пласта от 0.4-11.4%), причем более высокими значениями глинистости (11.4%) обладают два пропластка находящиеся в верхней части исследуемого интервала 2102.7-2105 м.

Пласт-коллектор обладает высокими значениями коэффициента пористости  $K_p = 15-20\%$ . Наибольшим значением  $K_p = 19-20\%$  обладают интервалы, расположенные в середине пласта коллектора. Эти интервалы 2106-2108 м, 2111-2118 м отмечаются максимальными значениями интенсивности НГК, и минимальными значениями ГК.

В дальнейшем 05.04.2012 года в скважине № 320, в интервале пласта-коллектора  $D_2V$  проводился ГИС-контроль с целью выявления коэффициента газонасыщения ( $K_g$ ) в процессе сезонной закачки газа.

Визуальное рассмотрение диаграмм методов НГК и ИНК позволяет сделать вывод о том, что пласт коллектор газонасыщенный. Так как он отмечается максимальным значением  $I_{\gamma}^{max}$ , максимальными показаниями на кривых времени жизни тепловых нейтронов  $\tau_{пл.}$  и минимальными значениями на диаграммах ГК ( $I_{\gamma}^{min}$ ).

Количественная оценка газонасыщения ( $K_G$ ) для межзернового терригенного, глинистого коллектора с  $K_p > 15 \div 20\%$  при двух фазном (газ-вода) насыщении определяется по нейтронному каротажу исходя из формулы 14:

$$K_G = W_p - K_{гг} W_{гг} - K_{п общ} W_B / K_{п общ} (W_G - W_B), \quad (14)$$

где  $W_G$  - объемное водородосодержание газа;  $W_B$  - для пластовой воды.

Как известно в пористых, не глинистых пластах объемное водородосодержание ( $W_p$ ) равно коэффициенту общей пористости

$W_p = K_{п общ}$ . Величину  $K_{п общ}$  определяют по данным метода НГК, значение  $K_{гг}$  - по данным ГК, рассмотренными во 2 разделе способами; величину  $W_G$  берут соответствующей минеральному составу глин данного коллектора,  $W_B$  - рассчитывают с учетом минерализации воды, по выражению 15:

$$W_B = 1 - 0.36 C_B W_G, \quad (15)$$

Рассчитанные на Степновском ПХГ значениями  $K_G$  по данным ГИС - контроль пласт воробьевского горизонта  $D_2V$  в интервалах глубин был определен как:

2099.0-2099.7м -газонасыщенный,

2099.7-2100.2м - слабогазонасыщенный,

2100.2-2101.7м - газонасыщенный,

2101.7-2102.7м - газом не насыщается,

2102.7-2103.4м - газонасыщенный,

2104.1-2108.7м - газонасыщенный,

2108.7-2109.4м - слабо- газонасыщенный,

2109.4-2110.1м - газонасыщенный,



2110.1-2110.5м - газом не насыщается,

2110.5-2111.8м - слабогазонасыщенный,

2111.8-2112.3м - газом не насыщается,

2112.3-2119.7м - газонасыщенный,

2119.7-2123.0м - насыщение не определено (пласт под уровнем жидкости, отсутствует замер ИННК),

2123.0-2125.5м - не исследован ГИС, по данным ГИС-бурения ГВК в пласте d2v отмечался на глубине 2120.2 м.

Критериями разделения интервалов по характеру насыщения послужили данные  $I_{пг}$ ,  $\tau_{пл}$ ,  $K_g$  представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Критерии оценки характера газонасыщения на Степновском ПХГ

Характер газонасыщения	$K_g$ тек.%	$I_{пг}$ у.ед.	$\tau_{пл}$ ИННК (мкс)
газонасыщенный	68.3% - 89.5%	3.3-5.1	395-496
слабогазонасыщенный	0.1% - 68.2%	2.0-3.5	324-378
Газом не насыщен	0%	2.2-2.6	241-305

Анализ, величины  $K_g$  показал, что пласт D<sub>2</sub>V газонасыщен на 74%; слабогазонасыщенные интервалы составили 15%, а газом не насыщенные 11%.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что состояние газонасыщения воробьевских отложений среднего девона на Степновском

ПХГ хорошее. Процесс контроля за заполнением закачки газа в пласт  $D_2$  методами радиоактивного каротажа (РК) осуществляется весьма эффективно.

**Заключение.** В процессе написания ВКР было проведено изучение особенностей контроля за заполнением закачки газа методами РК в интервале продуктивного пласта  $D_2V$  на примере эксплуатационной скважины № 320 Степновского ПХГ.

Показано, что на Степновском ПХГ методы РК используется для выделения газонасыщения пластов, определения их коэффициентов глинистости и пористости.

Установлено, по данным ГИС бурения, что исследуемый интервал пласта  $D_2V$  находится на глубине 2099-2120 м.

Выявлены граничные значениям  $I_{\text{пг}}$ ,  $\tau_{\text{пл}}$  необходимые для определения характера газонасыщения  $K_{\text{гтек}}$  исследуемого пласта в процессе его заполнения газом.

Проведено разделение интервалов пластов-коллекторов по характеру насыщения на газонасыщенные, слабогазонасыщенные и газом не насыщенные. При этом значения  $K_{\text{г}}$  воробьевских отложений среднего девона на Степновском ПХГ имеют высокие значения в среднем 80%.

Анализ, состояния газонасыщения воробьевских отложений среднего девона в период закачки газа показал, что пласт газонасыщен на 74%; слабогазонасыщенные интервалы составляют 15%, газом не насыщенные - 11%.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что процесс контроля за заполнением закачки газа в пласт  $D_2V$  методами радиоактивного каротажа на Степновском ПХГ осуществляется весьма эффективно.