

УДК 622.276.43.004.58

**СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГО-
ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИНДИКАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**SYSTEM FOR EVALUATION TECHNOLOGICAL EFFICIENCY
OF GEOLOGICAL AND TECHNICAL ACTIONS ON THE RESULTS
OF THE INDICATOR RESEARCH**

Хозяинов М.С., Чернокожев Д.А., Кузнецов М.И., Кузнецова К.И.

ООО «МАНТСГЕО», г. Москва, Российская Федерация

Университет «Дубна», г. Дубна, Российская Федерация

M.S. Khozyainov, D.A. Chernokozhev, M.I. Kuznetsov, K.I. Kuznetsova

«MANTSGEO» Ltd., Moscow, the Russian Federation

Dubna University, Dubna, the Russian Federation

e-mail: mmsnake@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены результаты индикаторных исследований нефтяных пластов, проведенные в 2011 и 2013 годах на одних и тех же участках нагнетательных скважин нефтяного месторождения в Республике Казахстан. Исследования проводились на пластах Ю-I - Ю-X, в которых продуктивными являются отложения келловейского, батского, байосского ярусов юрской системы. В результате исследований получены значения рассчитанной суммарной массы извлеченного с устьев добывающих скважин индикатора (%), рассчитаны объемы (m^3) и производительности каналов НФС ($m^3/сут$) в межскважинном пространстве, действительные скорости движения меченой воды ($m/сут$), проницаемости каналов НФС ($мкм^2$) и гидропроводности ($мкм^2*см/сПз$). Целью исследований 2011 года было изучение гидродинамических характеристик пластов,

определение направлений фильтрации жидкости в области низкого фильтрационного сопротивления в межскважинном пространстве. Целью исследований 2013 года являлась оценка эффективности проведенных в 2012 году геолого-технических мероприятий (ГТМ), направленных на увеличение нефтеотдачи на участках индикаторных исследований 2011 года. Поставлена задача создания системы оценки эффективности ГТМ в области низкого фильтрационного сопротивления. Были предложены критерии оценки охвата заводнением разрабатываемых нефтяных пластов. Все участки по результатам исследований, проведенных за период 90-120 суток, то есть в зонах низкого фильтрационного сопротивления, разделяются на три группы: равномерное заводнение, неоднозначное заводнение, неравномерное заводнение. Приведены параметры, которые используются для классификации. Классификация позволяет рекомендовать участки для первоочередного включения в план проведения ГТМ для повышения добычи нефти. Проведение индикаторных исследований до и после ГТМ позволяет оценивать изменение характера заводнения на участке и делать выводы по оценке эффективности этих мероприятий. Переход участка нагнетательной скважины из группы неравномерного вытеснения на равномерное вытеснение говорит о положительном результате проведенного ГТМ.

Abstract. The results of indicator research of oil reservoirs, conducted in 2011 and 2013 on the same areas of injection wells oil field in Republic of Kazakhstan. Studies were conducted on layers Ю-I - Ю-X, in which productive sediments are Callovian Stage, Bathonian Stage, Bajocian Stage of Jurassic. As a result of research the values calculated the total weight of the recovered from the mouths of the producing wells of the indicator (%), calculate the volume (m³) and performance channels of LFR (m³ / day) in the inter-well space, the actual speed of the labeled water (m / day), permeability of LFR channels (μm²) and hydraulic conductivity (μm²*cm/cPs). The aim of the research of 2011 was study the hydrodynamic characteristics of the layers, identify of fluid flow in

areas of low filtration resistance in the inter-well space. The aim of the research of 2013 were performance evaluation conducted in 2012, geological and technical measures (GTM), aimed at increasing oil recovery in the areas of indicator research 2011. The task was to create a system of evaluating the effectiveness of GTM in the field of low filtration resistance. Have been proposed evaluation criteria sweep efficiency of developed oil formations. All areas on the results of studies carried out during the period 90 - 120 days, i.e. in the areas of low filtration resistance, divided into three groups: uniform water flood, water flood ambiguous, non-uniform water flood. The article presents the parameters used for classification. Classification allows you to recommend priority areas for inclusion in the plan of GTM to increase oil production. Conducting of indicator research before and after the GTM allows to estimate the changing nature of water flood on the area and to draw conclusions on the effectiveness of these measures. Transition area injection well from the group of non-uniform displacement to uniform water flood talk about the positive result of conducted GTM.

Ключевые слова: индикаторные исследования, оценка воздействия на пласт, коллектора с низким фильтрационным сопротивлением, заводнение, межскважинное пространство.

Key words: indicator research, assessment of impact on the reservoir, reservoir with low filtration resistance, water flood, inter-well space.

Введение

Сложность геологического строения, неоднородность коллекторских свойств и фильтрационных параметров продуктивных отложений требуют специальных мер контроля эффективности ГТМ, направленных на увеличение добычи нефти. Одним из таких эффективных методов контроля является индикаторный (трассерный) метод, который позволяет изучать реальные фильтрационные потоки с помощью меченых веществ [5].

В данной статье приведены результаты индикаторных исследований, позволившие разработать классификацию участков с точки зрения перспективности проведения на них различных ГТМ, в том числе выравнивание профиля приемистости, изменение режима поддержания пластового давления и другие. Приведены параметры, которые используются для классификации. Все участки по результатам исследований, проведенных за период 90-120 суток, то есть в зонах низкого фильтрационного сопротивления, разделяются на три группы: равномерное заводнение, неоднозначное заводнение, неравномерное заводнение. Разработанные параметры классификации позволяют оценивать эффективность проведенных ГТМ путем проведения индикаторных исследований до и после мероприятий. Изменение ранга участка с неравномерного на равномерное означает успешность проведенного ГТМ.

Краткая геолого-физическая характеристика объекта исследований

Исследования проводились на пластах Ю-I – Ю-X нефтяного месторождения в Республике Казахстан, в котором продуктивными являются отложения келловейского, батского, байосского ярусов юрской системы. Породы, слагающие юрские продуктивные горизонты, представлены песчаниками, алевролитами, редко аргиллитами. В стратиграфическом диапазоне привязка продуктивных горизонтов следующая: к келловейскому ярусу приурочены горизонты Ю-I и Ю-II, к батскому ярусу – Ю-III – Ю-V, к байосскому ярусу – Ю-VI – Ю-X.

Методическое обеспечение проведенных исследований

Обработка исходных данных (физико-химический анализ проб воды на присутствие индикатора, анализ промысловой и геолого-физической информации, данных по разработке и т.д.) и интерпретация результатов

трассирования фильтрационных потоков проводилась на основе теоретических, экспериментальных и методических исследований, проведенных сотрудниками ООО «МАНТСГЕО» [1, 2, 3, 5, 6, 7], в том числе с помощью специализированного программного обеспечения для обработки, экспресс-анализа и первичной интерпретации результатов индикаторных исследований [4].

Проведенные индикаторные исследования

В 2011 и 2013 годах на одних и тех же участках нагнетательных скважин месторождения были проведены индикаторные исследования. Целью исследований 2011 года было изучение гидродинамических характеристик пластов, определение направлений фильтрации жидкости в области низкого фильтрационного сопротивления в межскважинном пространстве. Целью исследований 2013 года являлась оценка эффективности проведенных в 2012 году геолого-технических мероприятий, направленных на увеличение нефтеотдачи на участках индикаторных исследований 2011 года. Была поставлена задача создать критериальную систему оценки влияния каналов НФС на опережающее заводнение пластов по результатам индикаторных исследований 2013 года для последующей оценки эффективности ГТМ.

Под каналами (областью) низкого фильтрационного сопротивления (НФС) понимается условно-выделенный объём пласта между местом ввода меченой жидкости в нагнетательной скважине и контрольной добывающей скважиной, с определенными значениями производительности, проницаемости, проводимости и гидропроводности, по которому фильтрация меченой жидкости происходит с эффективными скоростями более 1,5-2 м/сут.

Закачка индикатора в 2013 году производилась через устья 47 нагнетательных скважин, вскрывшие пласт Ю, а отбор проб происходил в течение 120 суток с устьев 151 добывающей скважины. Было

задействовано ~95% действующего фонда скважин поддержания пластового давления (ППД) и добывающих скважин. Это позволило проследить движение нагнетаемой воды практически по всему месторождению.

В результате исследований получены значения рассчитанной суммарной массы извлеченного с устьев добывающих скважин индикатора (%), рассчитаны объемы (м^3) и производительности каналов НФС ($\text{м}^3/\text{сут}$) в межскважинном пространстве, действительные скорости движения меченой воды ($\text{м}/\text{сут}$), проницаемости каналов НФС (мкм^2) и гидропроводности ($\text{мкм}^2 \cdot \text{см}/\text{сПз}$).

Был введен эмпирический коэффициент k , значение которого подбирается путем анализа всех полученных расчетных параметров индикаторных исследований. Введение такого коэффициента, как некое интегрального показателя, позволяет получить критические значения объема порового пространства для его сравнения с рассчитанными значениями объемов каналов НФС по результатам исследований.

Это позволяет произвести классификацию участков нагнетательных скважин по характеру вытеснения в области НФС и выделить их в группы.

Критический объем каналов НФС рассчитывался по формуле:

$$V_{\text{критический}} = k * V_{\text{нор}} \quad (1)$$

где k – интегральный статистический коэффициент для конкретного месторождения:

$$V_{\text{нор}} = S_{\text{ср}} * h * m \quad (2)$$

где $V_{\text{нор}}$ – усредненный объем порового пространства выбранного участка нагнетательной скважины (м^3)

m – пористость (доли ед.)

h – мощность пласта (м)

$S_{\text{ср}}$ – условная площадь выбранного участка нагнетательной скважины (м^2)

Пример определения критического объема показан на рисунке (рисунок 1).

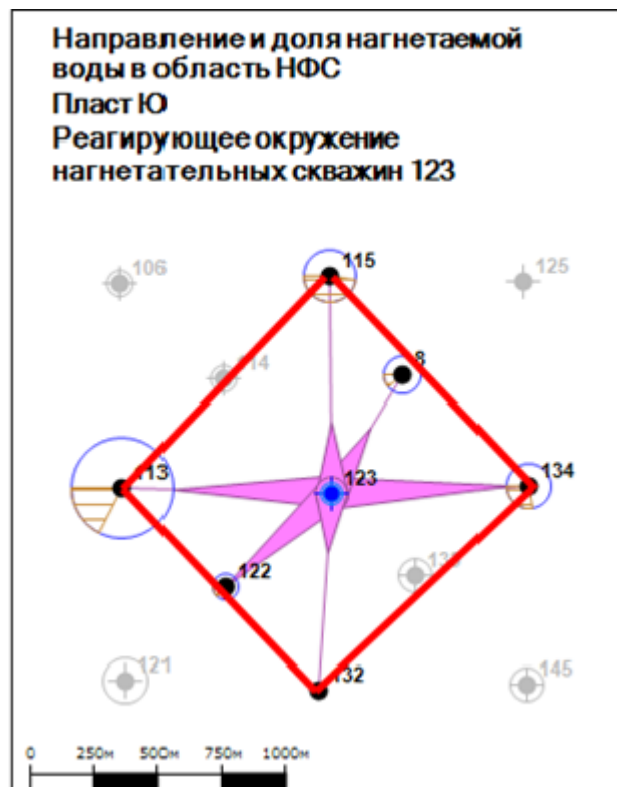


Рисунок 1. Средняя площадь участка 123 нагнетательной скважины для расчета критического объема

1. Находим площадь (выделена красным):

$$S_{cp} = 1100 * 1100 = 1210000 \text{ (м}^2\text{)}$$

2. Пласт Ю

Пористость(m) – 0,158

Мощность пласта(h) – 21,2 (м)

$$3. V_{пор} = S_{cp} * h * m = 1210000 * 0,158 * 21,2 = 4053016 \text{ м}^3$$

$$4. V_{критический} = 0,0002 * V_{пор} = 810,6 \text{ м}^3$$

Сравнение значений $V_{кНФС}$ и $V_{критический}$, показало, что если $V_{кНФС}$ меньше $V_{критический}$, то на таких участках нагнетательных скважин фильтрация закачанной воды по каналам не оказывает существенного влияния на обводненность добывающего окружения.

По результатам интерпретации сделан вывод, что участки нагнетательных скважин, у которых суммарная масса извлеченного индикатора (М) превышает 20% от закачанного, характеризуются большими объемами каналов НФС высокой производительности, а

фильтрация по ним оказывает существенное влияние (от 10% до 40%) на обводненность добывающих скважин.

Авторами предложена возможная классификация участков нагнетательных скважин по характеру вытеснения нефти водой в области низкого фильтрационного сопротивления. В данной классификации предлагается разделение участков на три группы.

В первую группу, названную **«равномерное заводнение»**, были выделены те участки, на которых влиянием системы каналов НФС можно пренебречь, т.е. в межскважинном пространстве данной нагнетательной скважины и соответствующего добывающего окружения пласт охвачен процессом вытеснения достаточно равномерно.

Для определения участков с равномерным заводнением использовалось условие:

$$V_{кНФС} < V_{критический} \quad (3)$$

Во вторую группу, **«неоднозначное заводнение»**, были выделены те участки, на которых выявлена либо разветвленная система каналов НФС, либо система каналов НФС определенной направленности, при этом влиянием системы каналов НФС (опережающая проводимость) на данном участке нагнетательной скважины и соответствующего добывающего окружения уже является существенной, но не критичной.

Для определения участков с неоднозначным заводнением использовалось условие:

$$V_{кНФС} \geq V_{критический} \text{ и } M < 0,2 \quad (4)$$

В третью группу выделены те участки, на которых наблюдается **«неравномерное заводнение»** — выявлена либо разветвленная система каналов НФС, либо система каналов НФС определенной направленности, которая является критичной при существующей системе разработки, оказывает резко негативное влияние на обводненность добывающих

скважин по каналам НФС и требует оперативного вмешательства с целью изоляции выявленных каналов.

Для определения участков с неравномерным заводнением использовалось условие:

$$V_{кНФС} \geq V_{критический} \text{ и } M \geq 0,2 \quad (5)$$

Таким образом, были классифицированы все участки нагнетательных скважин. Ниже представлены примеры расчета для оценки характера вытеснения по участкам нагнетательных скважин 2013 года.

Таблица 1. Расчет оценки характера вытеснения по участкам нагнетательных скважин в 2013 году

номер скважины	год	масса извлеченного индикатора, %	пористость (доли ед.)	мощность пласта (м)	условный Vпор (м ³)	Vкритический (м ³)	VкНФС (м ³)	характер вытеснения
143	2013	0,18	0,158	21,2	1519881	303,98	9,8	Равномерное вытеснение
249	2013	3,54	0,144	30,6	11016000	2203,2	303,53	
178	2013	5,67	0,158	21,2	3182120	636,42	642,18	Неоднозначное вытеснение
313	2013	3,12	0,158	21,2	1507320	301,46	337,03	
104	2013	43,29	0,158	21,2	4513586	902,72	9605,36	Неравномерное вытеснение
224	2013	19,76	0,158	21,2	2411712	482,34	4142,29	

На рисунке 2 приведена карта-схема оценки характера вытеснения по каждому участку нагнетательных скважин по результатам индикаторных исследований в 2013 году.

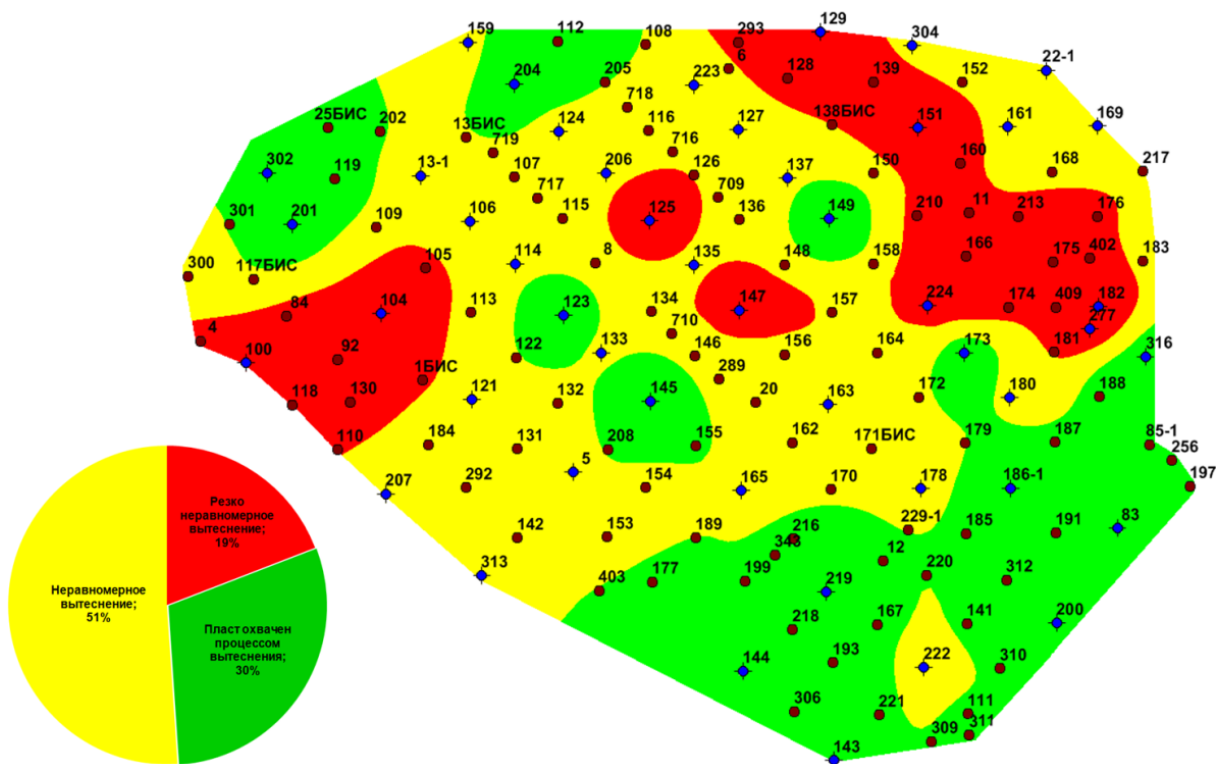


Рисунок 2. Карта-схема оценки характера вытеснения по каждому участку нагнетательных скважин по результатам индикаторных исследований в 2013 году

Оценка эффективности геолого-технические мероприятия в области низкого фильтрационного сопротивления

Результаты индикаторных исследований 2011 года были переинтерпретированы, используя классификацию, предложенную в 2013 году. Было проведено сравнение результатов исследований 2011 и 2013 годов. Сравнение происходило по значениям суммарной массы извлеченного индикатора, объемам и производительностям каналов НФС для 24 участков нагнетательных скважин.

На 18 участках нагнетательных скважин отмечается снижение выноса индикатора на дневную поверхность, уменьшается объем и производительность каналов НФС, что говорит о положительном эффекте от произведенных в 2012 году ГТМ. Так, например, на участке 123 (таблица 2) нагнетательной скважины, который в 2011 году был классифицирован как «неравномерное заводнение» суммарная масса извлеченного индикатора уменьшилась в 5 раз, с 25% в 2011 года до 4% в 2013 году, а объем и

производительность каналов НФС понизились с 4468,1 м³ и 80,09 м³/сут. до 365,8 м³ и 4,6 м³/сут. соответственно. Следовательно, эффект в области НФС от проведенных ГТМ можно считать положительным.

Таблица 2. Оценка эффективности ГТМ участка 123 нагнетательной скважины

Нагнетательная скважина	Пласт	Год проведения исследований	Суммарная масса извлеченного индикатора, %	Средневзвешенная скорость движения меченой воды (действительная), м/сут	Средняя проницаемость каналов НФС, мкм ²	Производительность каналов НФС, м ³	Объем каналов НФС, м ³	Характер вытеснения	Эффект от проведенных ГТМ(в период с 01.2012 по 08.2013)
123	Ю	2011 год	25	15	0,4	80,1	4468	<u>Неравномерное вытеснение.</u> Наличие разветвленной системы каналов НФС	Положительный. В сравнении с 2011 годом объемы и производительность каналов НФС существенно уменьшились, вытеснение можно оценивать как равномерное
123	Ю	2013 год	4	14	0,5	4,6	366	<u>Пласт охвачен процессом вытеснения.</u> Влияние системы каналов НФС незначительно	

Стоит отметить, что по окружению нагнетательной скважины 249, по 4 добывающим скважинам эффект положительный (снижение выноса индикатора, уменьшение производительности и объемов каналов НФС), но ввиду включения в отбор в 2013 году еще 7 добывающих скважин, за счет которых наблюдается увеличение объемов и производительности каналов НФС, эффект от проведенных ГТМ не оценивался. В данном случае можно говорить только о состоянии участка по результатам исследований 2013 года: на данном участке влиянием системы каналов НФС можно пренебречь, т.е. в межскважинном пространстве данной нагнетательной

скважины и соответствующего добывающего окружения пласт охвачен процессом вытеснения достаточно равномерно.

На 5 участках нагнетательных скважин и их окружения отмечается значительное увеличение выноса индикатора на дневную поверхность, а также происходит увеличение производительности и объемов каналов НФС, но в то же время на нескольких участках отмечается увеличение добычи нефти.

Так, например, на участке нагнетательной скважины 151 (Таблица 3) в 2013 году в 3 раза увеличивается масса извлеченного индикатора, а также возрастают объемы и производительность каналов НФС, но у трех добывающих скважин окружения 151 нагнетательной дебит нефти увеличился в 2 раза. В связи с этим можно сделать вывод, что на участке 151 нагнетательной скважины эффект от проведенных ГТМ в области НФС является неоднозначным.

Таблица 3. Оценка эффективности ГТМ участка 151 нагнетательной скважины

Нагнетательная скважина	Пласт	Год проведения исследований	Суммарная масса извлеченного индикатора, %	Средневзвешенная скорость движения меченой воды (действительная), м/сут	Средняя проницаемость каналов НФС, мкм ²	Производительность каналов НФС, м ³	Объем каналов НФС, м ³	Характер вытеснения	Эффект от проведенных ГТМ(в период с 01.2012 по 08.2013)
151	Ю	2011 год	10	22	0,8	40,1	1753	Неоднозначное вытеснение. Наличие разветвленной системы каналов НФС	Неоднозначный. Неравномерное вытеснение, установленное по результатам 2011 года подтвердилось по результатам 2013 года, но со значительным увеличением выноса индикатора на дневную поверхность, увеличением производительности и объемов каналов НФС. Влияние системы каналов НФС значительно увеличилось
151	Ю	2013 год	31	25	0,7	104	5618,6	Неравномерное вытеснение. Наличие системы каналов НФС определенной направленности	

Общая карта-схема для сравнительного анализа результатов по данным индикаторных исследований 2011 и 2013 годов (рисунок 3) представлена ниже.

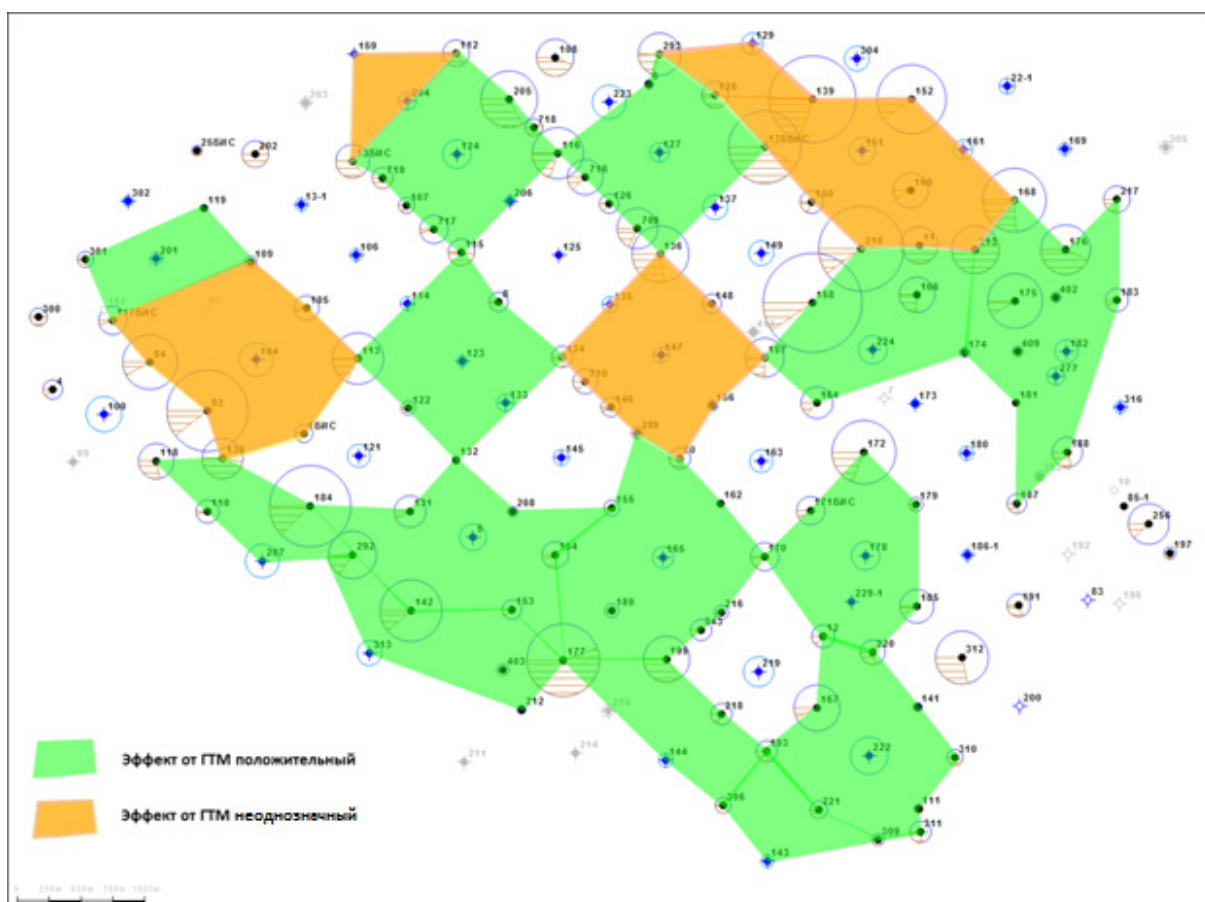


Рисунок 3 Общая карта-схема для сравнительного анализа результатов по данным индикаторных исследований 2011 и 2013 годов

Выводы

В данной работе предложена система классификации участков нефтяного пласта по характеру вытеснения нефти водой, для чего используют результаты индикаторных исследований. Классификация позволяет рекомендовать участки для первоочередного включения в план проведения ГТМ для повышения добычи нефти. Проведение индикаторных исследований до и после ГТМ позволяет оценивать изменение характера заводнения на участке и делать выводы по оценке эффективности этих мероприятий.

Список используемых источников

1 Кузнецов М.И., Чернокожев Д.А. Количественная оценка проводимости разломов нефтяных пластов по результатам индикаторных исследований // Каротажник. Тверь: Изд. АИС. 2014. Вып.12 (246). С. 36-42.

2 Кузнецов М.И., Чернокожев Д.А. Влияние системы разломов на интерпретацию результатов индикаторных исследований // Сборник тр. /21 науч. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов Университета «Дубна». Дубна: Университет «Дубна», 2013. С. 43-45.

3 Методические рекомендации по количественной интерпретации данных трассерных исследований межскважинного пространства нефтяных месторождений / под ред. М.С. Хозяинова. М.: ВНИИгеоинформсистем, 1988. С. 16.

4 Программа для ЭВМ "Мантсгео индикатор 2014" / М.С. Хозяинов, Д.А. Чернокожев, М.И. Кузнецов, С.А. Козлов, К.И. Кузнецова: Св-во о государственной регистрации №2014616939, 8 июля 2014. 2с.

5 Хозяинов М.С., Соколовский Э.В., Чернокожев Д.А. Индикаторные фильтрационные исследования нефтяных месторождений. Palmarium Academic Publishing, 2014. С.171.

6 Хозяинов М.С., Чернокожев Д.А. Результаты изучения фильтрационной неоднородности пласта ЮВ1 методом индикаторных (трассерных) исследований // Каротажник. Тверь: Изд. АИС. 2011. Вып.2 (212). С.3-14.

7 Чернокожев Д.А. Совершенствование технологии индикаторных исследований для оценки фильтрационной неоднородности межскважинного пространства нефтяных пластов: дис. ... канд. техн. наук. Университет «Дубна», Дубна, 21марта 2008. 141с.

References

1 Kuznetsov M.I., Chernokozhev D.A. Kolichestvennaja ocenka provodimosti razlomov neftjanyh plastov po rezul'tatam indikatornyh issledovanij. // NTV «Karotazhnik». Tver': Izd. AIS. 2014. Vyp.12 (246). S. 36-42. [in Russian].

2 Kuznecov M.I., Chernokozhev D.A. Vliyanie sistemy razlomov na interpretaciju rezultatov indikatornyx issledovanij // Sbornik trudov 21 nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyx specialistov universiteta «Dubna». Dubna: universitet «Dubna», 2013. S. 43-45. [in Russian].

3 Metodicheskie rekomendacii po kolichestvennoj interpretacii dannyh trassernyh issledovanij mezhskvazhinnogo prostranstva neftjanyh mestorozhdenij. / pod red. Khozyainova M.S. M.: VNIIGeoinformsistem, 1988. S. 16. [in Russian].

4 Programma dlja JeVM "Mantsgeo indikator 2014" / Khozyainov M.S., Chernokozhev D.A., Kuznetsov M.I., Kozlov S.A., Kuznetsova K.I. - sv-vo o gosudarstvennoj registracii №2014616939, 8 iyulya 2014. 2c. [in Russian].

5 Khozyainov M.S., Sokolovskij Je.V., Chernokozhev D.A. Indikatornye fil'tracionnye issledovanija neftjanyh mestorozhdenij, iz-vo: Palmarium Academic Publishing, 2014. S. 171. [in Russian].

6 Khozyainov M.S., Chernokozhev D.A. Rezul'taty izuchenija fil'tracionnoj neodnorodnosti plasta JuV1 metodom indikatornyh (trassernyh) issledovanij // NTV «Karotazhnik». Tver': Izd. AIS. 2011. Vyp.2 (212). S. 3-14. [in Russian].

7 Chernokozhev D.A. Sovershenstvovanie tehnologii indikatornyh issledovanij dlja ocenki fil'tracionnoj neodnorodnosti mezhskvazhinnogo prostranstva neftjanyh plastov: dis. ... kand. tehn. nauk. : universitet «Dubna», Dubna, 2008. S. 141. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Хозяинов М.С., д-р техн. наук, профессор университета «Дубна», генеральный директор ООО «МАНТСГЕО», г. Дубна, Российская Федерация

M.S. Khozyainov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Dubna University, General Director of “MANTS GEO” Ltd., Dubna, the Russian Federation

Чернокожев Д.А., канд. техн. наук, доцент кафедры общей и прикладной геофизики университета «Дубна», ведущий научный сотрудник ООО «МАНТСГЕО», г. Дубна, Российская Федерация

D.A. Chernokozhev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “General and Applied Geophysics”, Dubna University, Leading Researcher of “MANTS GEO” Ltd., Dubna, the Russian Federation

Кузнецов М.И., аспирант кафедры общей и прикладной геофизики университета «Дубна», г. Дубна, Российская Федерация

M.I. Kuznetsov, Post-graduate Student of the Chair “General and Applied Geophysics”, Dubna University, Dubna, the Russian Federation

Кузнецова К.И., аспирант кафедры общей и прикладной геофизики университета «Дубна», г. Дубна, Российская Федерация

K.I. Kuznetsova, Post-graduate Student of the Chair “General and Applied Geophysics”, Dubna University, Dubna, the Russian Federation

e-mail: mmsnake@yandex.ru