

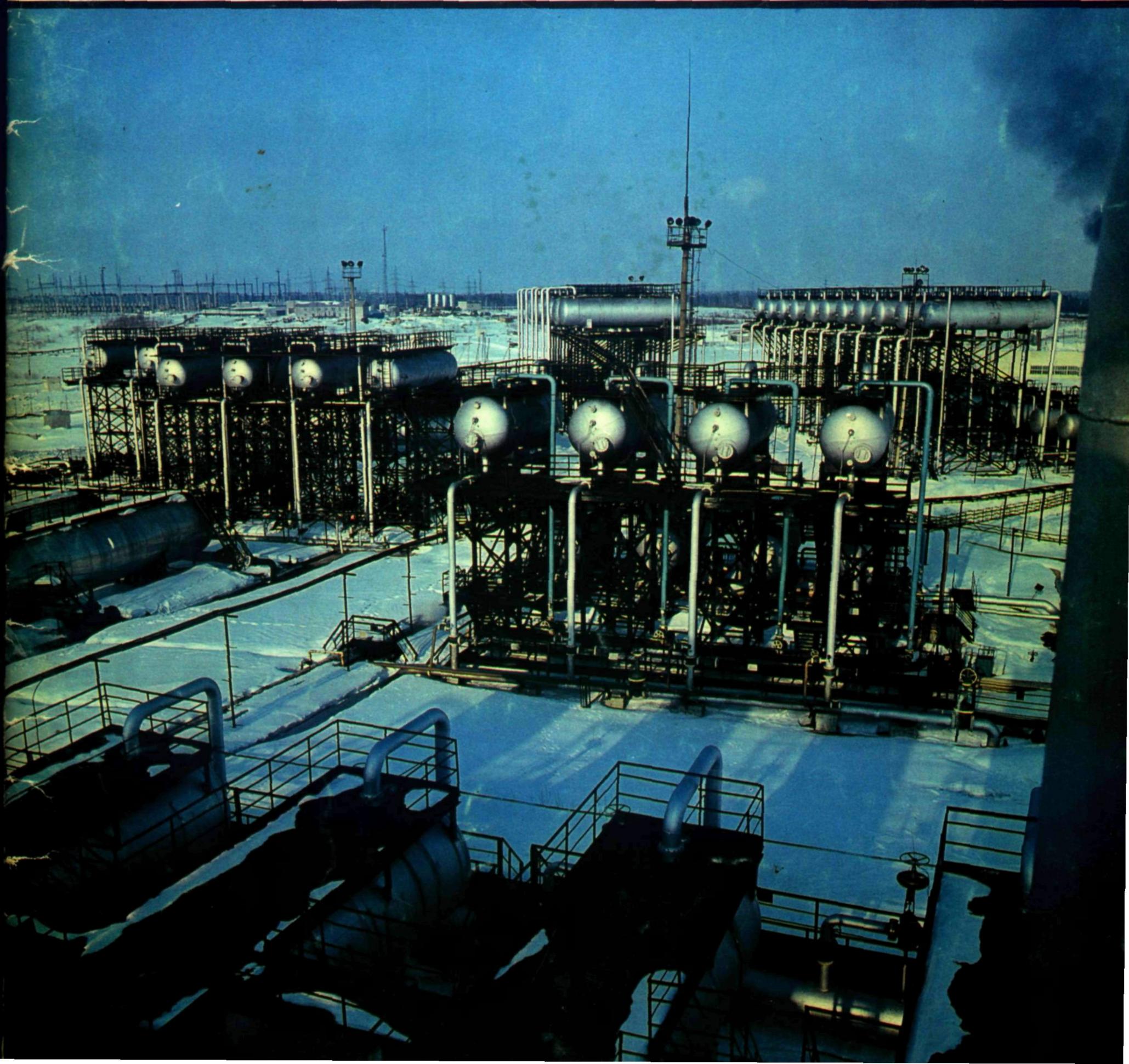
ISSN 0028-2448

ЯНВАРЬ-ФЕВРАЛЬ

JANUARY-FEBRUARY

1995 • 1-2

НЕФТЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО OIL INDUSTRY



О методе системной оценки эффективности разработки крупных месторождений System Evaluation of Major Field Development Efficiency

Ю.Г. Богаткина, Т.Ю. Бочкарева, НА. Еремин (ИПНГ РАН), А.Т. Панарин (НГДУ «Альметьевнефть»)
Yu.G. Bogatkina, T.Yu. Bockhareva, NA. Eremin (IPNG, Russian Acad. Sc.),
A.T. Panarin (NGDY «Almetevneft»)

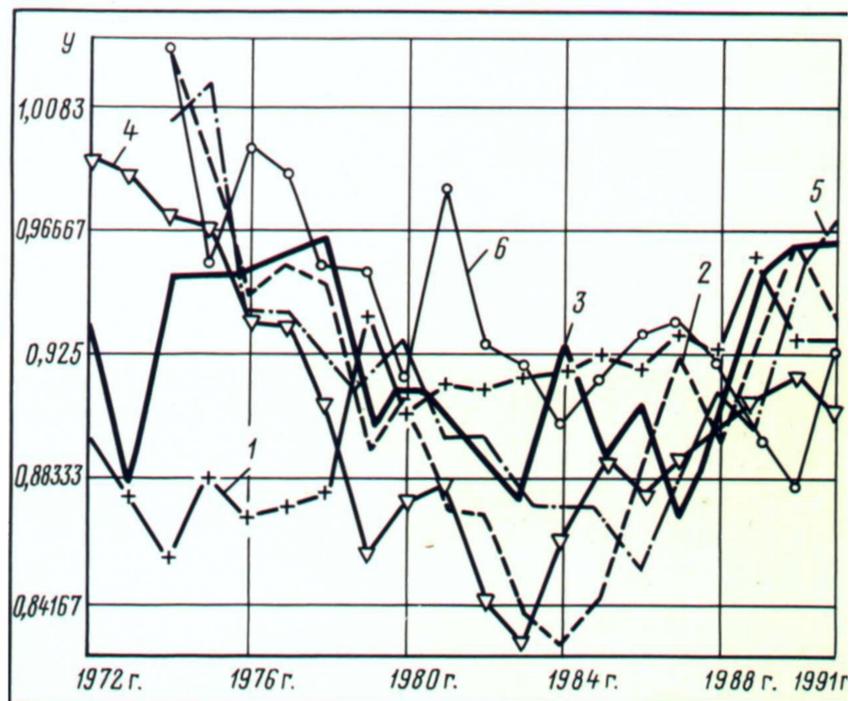
The method is used for the comparison of the development efficiency of some areas of the Romashkinskoe field.

The novel method based on the fuzzy set theory and the probabilistic — statistical approach is developed for the estimation of the development oil field at the late stage.

This method bases on the multicriterial approach including geology, economy, ecology, technology.

Предлагаемый метод предназначен для многомерного статистического анализа разработки крупных нефтяных месторождений, находящихся на поздней стадии. Основные нефтяные месторождения России (Туймазинское, Ромашкинское, Самотлорское и другие) находятся на поздней стадии разработки, открытие новых крупных месторождений в ближайшее время весьма проблематично. Добыча нефти на старых нефтяных месторождениях составляет более 40 % в общем балансе добычи нефти в России. В связи с этим анализ существующего опыта, системные оценки успешности применения основных технологий разработки и совершенствование систем разработки на крупных месторождениях являются актуальной задачей.

На площадях НГДУ «Альметьевнефть» с 1986 г. проводится интересный эксперимент с элементами циклического заводнения и изменения направления фильтрационных потоков, названный динамическим режимом разработки. К 1993 г. на этих площадях удалось снизить объемы нагнетания пресной и сточной воды почти в 2 раза. Это значительно улучшило экологические показатели НГДУ «Альметьевнефть» и привело к общему оздоровлению экологической обстановки в регионе (уменьшению аварийности скважин и трубопроводов, сокращению объемов сточных вод и солености в водоносных горизонтах). Текущий отбор нефти не только не снизился по сравнению с проектным, но даже немного возрос. Эффективность применения динамического режима в целом по площадям очень высокая и по объему охватываемых воздействием запасов пластов на 1—2 порядка выше эффективности методов увеличения нефтеотдачи (МУН): полимерного заводнения, нагнетания вязко-упругих систем (ВУС). Схема расчета апроби-



Динамика темпа падения добычи нефти
у: 1, 2, 3, 4, 5, 6 — площадь соответственно Миннибаевская, Северо-Альметьевская, Павловская, Абдрахмановская, Березовская, Альметьевская

валась при сравнении эффективности разработки шести площадей Ромашкинского месторождения: Северо-Альметьевской, Альметьевской, Абдрахмановской, Березовской, Павловской, Миннибаевской.

В первую очередь рассматривался вопрос близости геологических параметров этих площадей. Существенным является вопрос: можно ли считать расхождения в геолого-физических параметрах по разным площадям значимыми или их следует считать случайными вследствие малого объема информации. Для доказательства однородности имеющегося материала существует большое разнообразие критериев. В данном случае предлагается использовать критерий Вилкоксона, поскольку такая процедура не требует построения оценок функций рас-

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Таблица 1

Показатели	Площадь					
	Северо-Альметьевская	Альметьевская	Абдрахмановская	Березовская	Павловская	Миннибаевская
КИН	0,521/0,93	0,6482/0,86	0,517/0,92	0,561/1	0,519/0,93	0,507/0,9
Нефтенасыщенная толщина h_n , м	11,5/0,71	11,5/0,71	16,1/1	5,4/0,34	15,4/0,96	15,2/0,94
Коэффициент пористости k_p , %	19,4/0,92	18/0,85	20,1/0,95	18,4/0,87	21,2/1	17/0,80
Коэффициент проницаемости $k_{пр}$, мкм ²	0,35/0,68	0,301/0,59	0,499/0,97	0,34/0,66	0,349/0,68	0,514/1
Коэффициент растворимости	3,3/0,62		5,3/1		4,6/0,87	4,8/0,91
Коэффициент нестационарности	0,52/0,93		0,54/0,96		0,56/1	0,49/0,88
Коэффициент зональной неоднородности $k_{з.н}$	0,469/0,59		0,585/0,74		0,79/1	0,37/0,47
Балансовые начальные запасы/Общая площадь	15,3/0,76	15,0/0,74	19,7/0,98	9,5/0,47	15,8/0,78	20,2/1

Примечания

1. В числителе приведено фактическое значение параметра, в знаменателе — нормированное значение.
2. Начальное пластовое давление составляло 17,5/0,1 МПа.

Таблица 2

Площадь	Результаты расчетов	Однородность
Северо-Альметьевская и Альметьевская	$N_1=9, N_2=6,$ $w=49, \underline{w}=36, 2MW=96$	Однородные
Северо-Альметьевская и Абдрахмановская	$N_1=9, N_2=9,$ $w=113, \underline{w}=70, 2MW=171$	Неоднородные
Северо-Альметьевская и Березовская	$N_1=6, N_2=9,$ $w=46, \underline{w}=36, 2MW=96$	Однородные
Северо-Альметьевская и Павловская	$N_1=9, N_2=9,$ $w=61, \underline{w}=70, 2MW=171$	Неоднородные
Северо-Альметьевская и Миннибаевская	$N_1=9, N_2=9,$ $w=71, \underline{w}=70, 2MW=171$	Однородные
Альметьевская и Абдрахмановская	$N_1=6, N_2=9,$ $w=29, \underline{w}=36, 2MW=96$	Неоднородные
Альметьевская и Павловская	$N_1=6, N_2=9,$ $w=32, \underline{w}=36, 2MW=96$	Неоднородные
Абдрахмановская и Павловская	$N_1=9, N_2=9,$ $w=83, \underline{w}=70, 2MW=171$	Однородные

пределения и показывает неплохие результаты даже при малых выборках¹.

Геолого-физическая информация по всем объектам приведена в табл. 1, результаты сравнения геолого-физических параметров — в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что при уровне значимости $\alpha = 0,1$ выделены две группы сходных объектов: 1) Северо-Альметьевская, Альметьевская, Березовская, Миннибаевская площади; 2) Абдрахмановская и Павловская площади. Очевидно, что при оценке значимости различных факторов с точки зрения эффективности разработки месторождения необходимо установить не только качественное, но и количественное влияние различных показателей на процесс разработки. Определение количественного влияния заключается в выявлении статистической связи между факторами и показателем процесса. Для ее оценки используют коэффициенты корреляции.

При анализе значимости геолого-физических параметров использовались различные зависимости: линейная, степенная и экспоненциальная. Во всех случаях выявлена одна и та же качественная зависимость между интенсивностью системы Y и нефтенасыщенной толщиной, пористостью, проницаемостью, коэффициентом расчлененности, зональной неоднородностью (под интенсивностью системы понимается произведение максимального темпа отбора от начальных извлекаемых запасов на выработку от начальных извлекаемых запасов, соответствующую добыче за три стадии разработки). В табл. 3 приведены коэффициенты корреляции, рассчитанные для уравнений связи. Из нее следует, что наиболее значительно влияет проницаемость, затем нефтенасыщенная толщина, коэффициент расчлененности $k_{расч}$.

Таблица 4

Площадь	Эффективность технологического режима разработки по годам					
	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Миннибаевская	0,479	0,497	0,505	0,490	0,522*	0,507*
Березовская	0,460	0,480	0,479	0,401	0,469	0,465
Альметьевская	0,578*	0,587*	0,552*	0,462	0,484	0,479
Северо-Альметьевская	0,351	0,394	0,389	0,545	0,489	0,507*
Абдрахмановская	0,559	0,537	0,542	0,587*	0,472	0,435
Павловская	0,473	0,424	0,432	0,481	0,458	0,425

* Наибольшая эффективность с точки зрения технологического режима разработки площади.

Таблица 3

Функциональная зависимость	Уравнение связи		
	$y=a+bx$	$y=ax^b$	$y=e^{a+bx}$
$Y=f(h_n)$	0,28	0,20	0,26
$Y=f(k_n)$	0,04	0,08	0,09
$Y=f(k_{np})$	0,72	0,73	0,70
$Y=f(k_{расч})$	0,22	0,17	0,22
$Y=f(k_{з.н})$	0,05	0,01	0,0002

Очевидно, что эффективность разработки различных площадей, в первую очередь, определяется комплексом геолого-физических свойств коллектора. В нашем исследовании он включает: 1) нефтенасыщенную толщину; 2) коэффициент пористости; 3) коэффициент проницаемости; 4) коэффициент расчлененности; 5) коэффициент зональной неоднородности. Оценим, насколько хороши геолого-физические характеристики каждой площади. Рассмотрим коэффициенты корреляции при линейной модели:

$k_1=0,28$; $k_2=0,04$; $k_3=0,72$; $k_4=0,22$; $k_5=0,05$.

Степень значимости i -го показателя по сравнению с $i+1$ -ым определяется следующим образом:

$$t_{i,i+1} = 10k_i / (k_i + k_{i+1}); \quad (1)$$

$$t_{i+1,i} = 10k_{i+1} / (k_i + k_{i+1});$$

где i изменяется от 1 до 5. Сравним, например, коэффициенты корреляции для нефтенасыщенной толщины $t_{1,2} = (0,28 \cdot 10) / (0,28 + 0,04) = 9$ и пористости $t_{2,1} = (0,04 \cdot 10) / (0,28 + 0,04) = 1$. Таким образом рассчи-

¹ Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. — М.: Наука, 1983. — 253 с

Таблица 5

Площадь	Системная оценка эффективности разработки площадей по годам					
	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Миннибаевская	0,634	0,653	0,667	0,689	0,673	0,535
Альметьевская	0,716	0,730	0,728*	0,676	0,697	0,576
Северо-Альметьевская	0,711	0,722	0,712	0,673	0,689	0,572
Березовская	0,649	0,675	0,673	0,750*	0,72*	0,608*
Павловская	0,730*	0,732*	0,727	0,750*	0,687	0,528
Абдрахмановская	0,467	0,436	0,438	0,467	0,452	0,261

* Наиболее успешные значения с точки зрения системной оценки.

тывается матрица значимости геолого-физических характеристик.

Вес каждого параметра определяется по формуле

$$\lambda_j = \frac{\sum_{i=1}^5 t_{ij}}{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 t_{ij}} \quad (2)$$

Для линейной модели $y=ax+b$: $\lambda_1=0,23$; $\lambda_2=0,09$; $\lambda_3=0,37$; $\lambda_4=0,20$; $\lambda_5=0,11$. Насколько удачным является положение площади в пространстве геолого-физических параметров по каждому анализируемому показателю отражает функция принадлежности. В рассматриваемом случае рост каждого показателя повышает интенсивность разработки, поэтому функцию принадлежности естественно строить из предположения о том, что максимальному показателю соответствует степень принадлежности 1, а минимальному — 0. Зная интервалы изменения каждого показателя t_i^* , нетрудно рассчитать линейные функции принадлежности $\mu(t_i^*)$.

Положение k -ой площади в пространстве геолого-физических параметров с учетом веса каждого определяется по формуле

$$y_k = \sum_{j=1}^5 \mu(t_j^*) \lambda_j \quad (3)$$

где $k=1-6$.

Вес каждой площади в пространстве геолого-физических параметров:

$y_1=0,2922$, $y_2=0,2390$, $y_3=0,8963$, $y_4=0,1854$, $y_5=0,6367$, $y_6=1,3660$, т.е. наилучшими геолого-физическими параметрами обладает Миннибаевская площадь (y_6), далее следуют Абдрахмановская (y_3) и Павловская (y_5), из трех последних лидирует Северо-Альметьевская (y_1). Для оценки эффективности разработки рассматривались следующие технологические регулируемые параметры: 1) депрессия $p_{ден}$, равная разности пластового $p_{пл}$ и забойного $p_{заб}$ давлений в зоне отбора; 2) репрессия, определяемая разностью забойного давления в зоне нагнетания и забойного давления в зоне отбора; 3) плотность сетки $s_{сет}$; 4) соотношение числа нагнетательных

скважин и добывающих скважин; 5) средняя приемистость на одну нагнетательную скважину v_n . Оценивалась степень корреляции указанных параметров с темпом падения добычи y , причем

$$y = q_n / q_{n-1} \quad (4)$$

где q_n — добыча нефти в n -ый год.

Из рисунка видно, что с 1986 г. начался подъем добычи нефти по всем площадям в результате перехода к новому режиму разработки. Составляющими этого режима стали:

динамический режим заводнения с изменением направления фильтрационных потоков, при котором был снижен объем нагнетаемой воды;

увеличение числа ежегодно осваиваемых под закачку воды скважин, вследствие этого уменьшилось число нагнетательных скважин с 1:4,3 до 1:3,5;

разукрупнение эксплуатационных объектов за счет вскрытия в новых скважинах лишь однодвух пластов и оптимизация плотности сетки; уменьшение давления закачки на устье нагнетательных скважин и повышение забойного давления в добывающих скважинах.

Оценим насколько удачными были технологические параметры для разработки каждой площади, используя ту же методику, что и при анализе геолого-физической информации. Оценка эффективности технологического режима разработки приведена в табл. 4.

При оценке эколого-экономической эффективности разработки площадей исследовались себестоимость 1 т добытой нефти и объемы нагнетаемых сточных вод по площадям.

Обобщая изложенное, сделаем системную оценку эффективности разработки. Эта оценка включает весь рассмотренный комплекс технологических, экономических и экологических параметров (табл. 5).

Таким образом, многокритериальный анализ динамического режима разработки площадей показал, что по всему комплексу показателей наиболее успешной в 1986 и 1987 г. была разработка Павловской площади, в 1988 г. — Альметьевской, а с 1989 по 1991 г. — Березовской.