



УДК 553.3/9.04:(550.8+33)

## ЭКСПРЕСС-ПРОГНОЗ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТАДИЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

М. Ю. Харитонов<sup>1</sup>, Н. А. Мацко<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск, Россия; <sup>2</sup>Институт системного анализа РАН, Москва, Россия

Для ресурсов, находящихся в стадии разведки, современная классификация запасов требует определение экономической эффективности перспектив освоения. Ее расчеты базируются на сроках освоения, которые без технологических проектов и схем трудно определить из-за недостаточности исходных данных. Выделение стадий разработки при предварительной экономической оценке проводится на основе экспертных оценок без точных критериев по аналогии с разрабатываемыми месторождениями. Установлены эмпирические зависимости и показана возможность их использования для экспресс-прогноза продолжительности срока отработки месторождения (залежи), продолжительности основного периода разработки, продолжительности нарастающего этапа добычи. Зависимости позволяют в условиях ограниченности геологических данных решить задачу построения кривой добычи. Экспресс-метод может быть использован на макроуровне для разработки стратегий развития нефтегазовых районов и на микроуровне при экономической оценке перспектив освоения объектов.

**Ключевые слова:** месторождения нефти, стадии разработки, извлекаемые запасы, логистическая зависимость.

## EXPRESS FORECAST OF PERIOD OF THE RESERVOIR DEVELOPMENT STAGES

M. Yu. Kharitonova<sup>1</sup>, N. A. Matsko<sup>2</sup><sup>1</sup>Institute of Chemistry and Chemical Technology of SB RAS, Krasnoyarsk, Russia; <sup>2</sup>Institute of System Analysis of RAS, Moscow, Russia

For resources in the exploration stage, the modern "Classification of reserves" requires determining the economic efficiency of development prospects. Calculations of the development efficiency are based on the development time, which is difficult to determine without technological projects and schemes due to insufficient initial data. The identification of development stages in the preliminary economic assessment is carried out on the basis of expert appraisals without precise criteria, by analogy with the fields under development. The article establishes empirical dependencies and shows the possibility of their use for express forecast of the period for finishing work on a field (deposit), duration of the main development period, duration of the increasing production stage. Dependencies allow solving the problem of constructing a production curve in conditions of limited geological data. The express method can be used at the macro level to develop strategies for the development of oil and gas regions and at the micro level in the economic assessment of the prospects for the development of objects.

**Keywords:** oil fields, development stages, recoverable reserves, logistic dependence.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-4-82-85

При планировании развития отрасли важно учитывать необходимые темпы воспроизводства минерально-сырьевой базы, позволяющие своевременно компенсировать производственные мощности, выбывающие вследствие истощения разведанных запасов. Информация о сроках выбытия мощностей важна, потому что поиск и разведка месторождений занимают значительное время, от открытия месторождения до его ввода в эксплуатацию проходит несколько лет. Наличие метода, позволяющего оперативно прогнозировать уровень добычи, время достижения пика и время начала снижения, является весьма актуальным.

В рыночных условиях значение экономической оценки минерального сырья становится особо важным в связи с рассмотрением месторождений (залежей) как объектов инвестирования. Роль экономических критериев закрепляется в новой Классификации запасов и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов (НКЗ), в которой говорится, что эконо-

мическая оценка перспектив освоения запасов УВС выполняется с различной степенью детализации на каждом этапе изучения месторождений [4].

Расчет показателей эффективности для объектов, находящихся на стадии промышленного освоения, не представляет трудности, поскольку имеются в наличии рассчитанные технологические показатели и технологические схемы. При этом должны быть учтены передовой отечественный и зарубежный опыт, современные достижения науки и техники, практика разработки месторождений, современные технологии воздействия на пласты, исследований и эксплуатации скважин. [5].

Для объектов, находящихся на разведочном этапе, нет необходимости рассчитывать экономические показатели с такой степенью детализации, это не представляется возможным из-за отсутствия достоверных оценок промысловых параметров и величины ресурсов. На данном этапе экономическая оценка осуществляется экспертным путем



по аналогии с известными месторождениями. Для оперативной экономической оценки используются упрощенные экспресс-методы, не требующие сложных компьютерных вычислений [1, 2].

При этом формализованные методы для указанных расчетов отсутствуют. Динамику добычи обычно разделяют на этапы: нарастающей добычи ( $t_1$ ), постоянной ( $t_2$ ) и падающей ( $t_3$ ). За эти три этапа отбирается основное количество нефти, они составляют основной период разработки ( $t_{\text{осн}}$ ). Далее следует завершающий этап разработки.

Обработка большого количества эмпирического материала по динамике отработки объектов позволила установить следующие закономерности для выделения границ между стадиями [3]. Границы между первой и второй стадиями находятся по соответствующему перегибу кривой динамики добычи нефти. Ко второй стадии относится период, в течение которого темпы разработки отличаются от максимального годового темпа не более чем на 5 %. За границу между первой и второй и второй и третьей стадиями принимаются начало и конец этого периода соответственно; между третьей и четвертой стадиями – значение на кривой добычи, в которой темп добычи нефти от НИЗ близок к 2 %; к третьей стадии относят период с темпом 2 % в год и выше, к четвертой – 2 % и ниже.

Таким образом, в нефтедобыче продолжительность стадий и основного периода определяется приблизительно, исходя из описательных характеристик добычи в каждую стадию, теоретически это не объясняется. Несмотря на наличие общих закономерностей в динамике добычи, определить длительности периодов разработки по аналогии с разрабатываемыми месторождениями сложно.

В статье предлагается экспресс-метод для определения продолжительности стадий разработки для объектов, находящихся на разведочном этапе освоения (до начала промышленной разработки), основанный на следующих положениях.

Процессы добычи невозобновляемых природных ресурсов непротиворечиво описываются логистической зависимостью, которая предполагает, что в долгосрочном периоде рост добычи не может быть бесконечным в силу ограниченности ресурсов [6]. Одной из наиболее известных таких моделей для описания добычи нефти является симметричная колоколообразная функция Хабберта [7].

Исходя из этого, общий объем добытых запасов как функция времени  $P(t)$  описывается уравнением

$$P(t) = \frac{Q_n P_0 e^{rt}}{Q_n + P_0 (e^{rt} - 1)}, \quad (1)$$

где  $Q_n$  – начальные извлекаемые запасы;  $P_0$  – объем накопленной добычи в момент времени  $t_0$ ,  $r$  – параметр, характеризующий скорость роста добычи.

Тогда объем оставшихся запасов при заданной величине истощения может быть определен по формуле

$$Q_n \left( 1 - \frac{\Delta}{100} \right) = Q_n - \frac{Q_n P_0 e^{rt}}{Q_n + P_0 (e^{rt} - 1)}, \quad (2)$$

где  $\Delta$  – степень использования запасов к моменту времени  $t$ , %;  $1 - \frac{\Delta}{100}$  – доля оставшихся запасов, доли ед.

Из формулы (2) следует

$$t = \frac{1}{r} \text{LN} \left[ \frac{Q_n - P_0}{P_0} \frac{\Delta}{100 - \Delta} \right], \quad (3)$$

где  $t$  – продолжительность периода разработки, соответствующая степени истощения запасов  $\Delta$ , лет.

Если задать степень истощения запасов достаточно высокой (97–99 %), то значение  $t$  в формуле (3) будет обозначать срок отработки объекта.

Теоретическая формула (3) подтверждается фактическими данными по динамике добычи нефти для объектов, сроки вступления которых в завершающую стадию известны. Отклонение рассчитанных значений  $t$  от фактических не превышает 25 %, что является приемлемой степенью точности расчетов, осуществляемых на предпроектных стадиях геолого-разведочных работ (см. таблицу).

Исходя из фактических результатов разработки месторождений, вступивших в завершающую стадию разработки и расположенных в разных нефтедобывающих районах страны, формула (3) преобразована в зависимости, в которых параметром является только величина извлекаемых запасов ( $Q_n$ ).

Продолжительность основного периода разработки (степень освоения запасов 85 %) составит

$$t_{\text{осн}} = 3,304 \text{Ln} Q_n - 29,313, \quad (4)$$

возрастающей добычи (30 %)

$$t_1 = 1,76 \text{Ln} Q_n - 20,19, \quad (5)$$

срока разработки ( $\Delta$ )

$$t = -35,044 + 3,304 \cdot n \frac{Q_n \Delta}{100 - \Delta}. \quad (6)$$

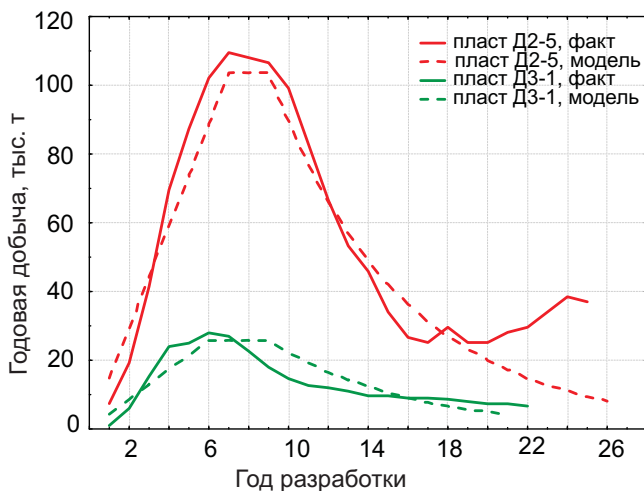
Длительность периода постоянной максимальной добычи ( $t_2$ ) (полки) можно принять равной 5 годам, для малых месторождений существенно меньше [3].

Тогда  $t_3 = t_{\text{осн}} - t_1 - t_2$ .

Эмпирическая формула (6) подтверждена фактическими данными динамики добычи нефти по 60 объектам [3]. Средняя относительная ошибка прогнозирования составляет 12 %, что свидетельствует о хорошей точности прогноза. На рисунке приведены смоделированные кривые динамики добычи по двум пластам месторождения Соколовгорское с использованием формул (1–6). При этом мы располагали только данными о начальных извлекаемых запасах.

## Фактический срок разработки для некоторых объектов

Месторождение	Продуктивный горизонт	Начальные извлекаемые запасы $Q_n$ , тыс. т	Годовая добыча в первый год разработки $P_0$ , т	Степень исчерпания запасов к периоду $t$ ( $\Delta$ ), %	Темп ввода $r$	$t$ , лет		Степень совпадения, %
						расчетное	фактическое	
Соколовогорское	Д2-5	14800	74000	85	0,28	25	21	118
	Пласт Д3-1	3330	9990	87,7	0,31	25	21	118
	Пласт Д3-2	4130	74340	95,7	0,28	25	25	100
Константиновская	Д2	12800	102400	87,4	0,29	24	24	99
	Д1	3470	10410	82,5	0,28	26	22	118
Покровское	Б2	7740	15480	88	0,31	26	25	106
Арчединское	Бобриковский	3230	3230	84,5	0,29	29	24	122
Серафимовское	Д1	53400	32040	82,2	0,31	29	24	120
Полазинское	Яснополянский надгоризонт	20800	62400	89,5	0,29	28	25	111
Покровское	А4	144000	43200	95,6	0,35	25	25	101
Арчединское	Д2	29900	29900	79	0,31	26	21	125
Жирновское	Б1	13800	27600	86,5	0,31	26	24	108



Фактические и смоделированные кривые добычи (месторождение Соколовогорское)

Предлагаемый экспресс-метод позволяет решить задачу построения кривой добычи в условиях ограниченности геолого-геофизических данных о залегании пласта и его фильтрационно-емкостных характеристиках при наличии сведений только об извлекаемых запасах или ресурсах объекта. Он может применяться на макроуровне для выработки стратегий развития нефтегазовых районов и на микроуровне отдельными недропользователями при экономической оценке перспектив освоения объектов.

### Выводы

Экономическая оценка ресурсов нефти проводится на всех стадиях их освоения. По мере перехода от ранних стадий к более поздним детальность расчетов и достоверность оценки повышаются. Уже на этапе разведки определяется промышленная значимость запасов и перспективы освоения месторождения.

Расчет экономических показателей разработки для разрабатываемых месторождений не представ-

ляет затруднений, так как основывается на фактических данных проектов разработки.

Для ресурсов, находящихся в стадии разведки, современная классификация запасов также требует определения экономической эффективности перспектив освоения. Расчеты эффективности освоения базируются на сроках освоения, которые без технологических проектов и схем трудно определить из-за недостаточности исходных данных.

Существует необходимость уже на разведочном этапе освоения объекта, когда еще нет ни фактических данных по динамике добычи, ни технологических схем и проектов, оценить продолжительность стадий освоения, а также сроки выбытия производственных мощностей. Определение этих параметров позволяет оценить экономический эффект от разработки и перспективы освоения месторождения.

С использованием информации по разрабатываемым нефтяным месторождениям, вступившим в завершающую стадию разработки, получены эмпирические зависимости для прогноза продолжительности нарастающего этапа добычи, основного периода разработки, срока отработки месторождения (залежи). Рассчитанные отклонения расчетных значений продолжительности этапов отработки месторождений от фактических не превышают 25%. Зависимости могут быть использованы при экономической оценке перспектив освоения месторождений на этапе разведки, когда данных для детальной оценки еще недостаточно, а также при планировании развития отрасли, чтобы своевременно вводить в эксплуатацию новые запасы вместо выбывающих и не допустить неконтролируемого снижения добычи

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ампилов Ю. П., Герт А. А. Экономическая геология. – М.: Геоинформмарк, 2006. – 400 с.



2. **Бочаров В. А., Григорьев М. Н.** Методический подход к выделению граничных точек стадий разработки месторождения // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 1. – С. 24–27.

3. **Иванова М. М.** Динамика добычи нефти из залежей. – М.: Недра, 1976. – 247 с.

4. **Классификация** запасов и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов. Утверждена приказом МПР от 1 ноября 2013 г. № 477. – Точка доступа: <https://rg.ru/2014/02/03/neft-site-dok.html>.

5. **Методические** рекомендации по проектированию разработки нефтяных и газонефтяных месторождений, МПР РФ: приказ от 21 марта 2007 г. № 61 // Вестн. ЦКР Роснедра. – 2017. – № 1. – С. 55–121.

6. **Семенычев В. К., Кожухова В. Н.** Анализ и предложения моделей экономической динамики с кумулятивным логистическим трендом. – Самара: СамНЦ РАН, 2013. – 156 с.

7. **King H. M.** Nuclear energy and the fossil fuels // American Petroleum Institute. Publication № 95. Shell Development Company. June, 1956. – P. 1–40. – Available at: <http://www.hubbertypeak.com/hubberty/1956/1956.pdf>.

## REFERENCES

1. Ampilov Yu.P., Gert A.A. *Ekonomicheskaya geologiya* [Economic Geology]. Moscow, Geoinformmark Publ., 2006. 400 p. (In Russ.).

2. Bocharov V.A., Grigoryev M.N. [Methodological approach to distinguishing of endpoints of the field development stages]. *Neftyanoye khozyaystvo*, 2002, no. 1, pp. 24–27 (In Russ.).

3. Ivanova M.M. *Dinamika dobychi nefti iz zalezhey* [Dynamics of reservoir oil production]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 247 p. (In Russ.).

4. *Klassifikatsiya zapasov i prognoznykh resursov nefti i goryuchikh gazov* [Classification of reserves and inferred resources of oil and combustible gases]. Approved by the Order of MNR [Ministry of Natural Resources of RF] from 1<sup>st</sup> of November 2013, no. N 477. Available at: <http://rg.ru/2014/02/03/neft-site-dok.html>. (In Russ.).

5. [Methodological recommendations for the design of development of oil and gas-oil fields, Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, the Order from March 21, 2007, no. 61]. *Vestnik TsKR Rosnedra – Bulletin of Central Development Committee*, 2017, no. 1, p. 55–121. (In Russ.).

6. Semenychev V.K., Kozhukhova V.N. *Analiz i predlozheniya modeley ekonomicheskoy dinamiki s kumulyativnym logisticheskim trendom* [Analysis and proposals of the economic dynamics models with cumulative logistic trend]. Samara, SamNTS RAN Publ., 2013. 156 p. (In Russ.).

7. King H.M. Nuclear energy and the fossil fuels. *American Petroleum Institute. Publication № 95*. Shell Development Company. June, 1956. P. 1–40. Available at: <http://www.hubbertypeak.com/hubberty/1956/1956.pdf>.

© М. Ю. Харитонов, Н. А. Мацко, 2020