

Подход к пространственно-панельному анализу данных нефтяного месторождения

Бахитова Раиля Хурматовна

д.э.н., профессор кафедры цифровой экономики и коммуникации Института экономики, финансов и бизнеса Башкирского государственного университета (ИНЭФБ БашГУ), bakhitovarah@mail.ru

Султанов Булат Рамдисович

магистрант Института экономики, финансов и бизнеса Башкирского государственного университета (ИНЭФБ БашГУ), sultanoff.bulat.3.4@yandex.ru

В статье разрабатываются пространственные и панельные модели добычи нефти на основе влияния характеристик скважин и свойств пластовых систем. Новизна настоящего исследования состоит в применении нестандартных факторных показателей, учитывающих помимо скважинных свойств, пластовые характеристики. Для восстановления пропущенных значений в исходных данных применялось построение модели кригинга. В качестве метрики соседства используется достаточно редкий тип соседства по триангуляции Делоне. Прикладной характер настоящего исследования заключается в возможности применения ее результатов для разработки методики оценки взаимовлияния скважин и определения связанности пластовых систем, являющейся одной из приоритетных задач ведущих нефтяных компаний. Результаты прогнозирования позволили сделать вывод об эффективности примененных методов и их практической и прикладной значимости.

Ключевые слова: нефтяное месторождение, пластовая система, панельная модель, кригинг, триангуляция Делоне.

В настоящее время нефтяная промышленность является ведущей отраслью российской промышленности, включающей как цикл добычи, переработки, транспортировки и сбыта нефти, так и производство нефтепродуктов. По доказанным запасам нефти Россия занимает 7 место в мире. Доля экспорта нефти в общем экспорте составляет свыше 30%.

Ввиду высокой значимости добычи нефти для российской экономики, актуально оценить влияние различных скважинных характеристик на данный параметр с учетом межпластовых взаимовлияний.

Новизна настоящего исследования состоит в применении нестандартных факторных показателей, учитывающих помимо скважинных свойств, пластовые характеристики. Кроме того, в работе использовались типы пространственных и панельных данных, включающих информацию о координатном местоположении конкретной скважины. Для восстановления пропущенных значений применялась технология интерполяции на основе модели кригинга.

Прикладной характер настоящего исследования заключается в возможности применения ее результатов для разработки методики оценки взаимовлияния скважин и определения связанности пластовых систем, являющейся одной из приоритетных задач ведущих нефтяных компаний.

Слабая изученность в научной среде эффекта связанности пласта предопределили цель исследования, состоящей в разработке модели добычи нефти с позиции влияния характеристик скважин и свойств пластовых систем. Моделирование осуществлялось в информационно-аналитических средах RStudio и Stata.

Предпосылки зарождения эконометрики тесно связаны с осознанием необходимости активного использования статистики и математики в изучении экономики. С момента своего становления и в течение длительного времени траектория развития эконометрической науки была направлена по пути исследования данных с двумя измерениями [5].

И лишь сравнительно недавно прикладной анализ в данной науке пополнился «трехмерными» моделями новых источников данных: пространственных выборок объектов (индивидуумов, домохозяйств, предприятий и т.п.), наблюдаемых в течение некоторого периода времени [4]. Такая пространственно-временная выборка получила название панельной выборки.

Для современных эконометрических работ нередко возникает ситуация, когда у каждой эконометрической единицы наблюдения есть свое уникальное местоположение [7].

Пространственная эконометрика - это область, где пересекаются пространственный анализ и эконометрика [3]. Пространственный анализ занимает ключевое место в эмпирических исследованиях так как позволяет приобщить к экономической модели структуру и географическое местоположение исходных данных. Пространственная выборка представляет собой совокупность

данных о координатах локальных объектов. Такими объектами могут быть: страна, регион, район, населенный пункт. Пространственный объект - цифровая модель материального или абстрактного объекта реального или виртуального мира с указанием его идентификатора, координатных и атрибутивных данных [1].

Начальным этапом любой геостатической оценки является построение модели кригинга. Кригинг — это улучшенный геостатистический метод, который позволяет строить предполагаемую поверхность из набора точек [2]. Данный метод обладает достаточным математическим аппаратом для обзорного исследования пространственного распределения исходных данных и основан на теории локальной переменной, заключающейся в однородности пространственной вариации явления. Кригинг идеально подходит, если оценки модели оказались смещенные, либо наблюдается пространственная скоррелированность значений. В случае если имеет место последнее, можно использовать данное обстоятельство для объяснения пространственного поведения явления.

Пространственная регрессия анализирует корреляцию между объектами в географическом пространстве. Данный раздел посвящен раскрытию тем пространственного соседства и выявления связи при помощи эконометрических инструментов. Такая связь напрямую имеет отношение к расположению изучаемых объектов: чем ближе они находятся друг к другу, тем выше значение корреляции. Параметры пространственной связи, например индекс Морана, способны оценить ее характер с позиции математико-статистических методов [6].

Практическая часть работы состояла из трех этапов: построение модели кригинга, панельной и пространственной моделей.

В рамках первого этапа исследования выполнялось построение модели кригинга пористости по координатам пластопересечения. Исходные данные включают переменные «Пористость» (показывает отношение объема пор к общему объему горной породы в пласте для данной скважины), «Координата пластопересечения X», «Координата пластопересечения Y» (координаты пересечения пласта и ствола скважины). Количество наблюдений - 12095, измеренные во времени (59 мес., с мая 1994 г. по март 1999 г.) и в пространстве (по 205-ти скважинам). В расчет брались добывающие вертикальные скважин. Горизонтальные скважины не учитывались ввиду неоднородности данных по ряду факторных показателей, в частности, песчанности. На предварительном этапе обработки данных выполнено статистическое исследование. Помимо применения базовых функций (среднее, медиана, мода, максимальное и минимальное значения, квантили, диаграмма рассеяния, гистограмма, проверка на нормальность) подтверждено отсутствие эффекта пропорциональности между значениями локального среднего и локальной дисперсии. Затем проводилось моделирование сферической вариограммы как статистического момента второго порядка. По результатам моделирования была получена восполненная карта исходной выборки с восстановленными пропущенными значениями показателя пористости, которая в дальнейшем может быть использована для построения панельных моделей.

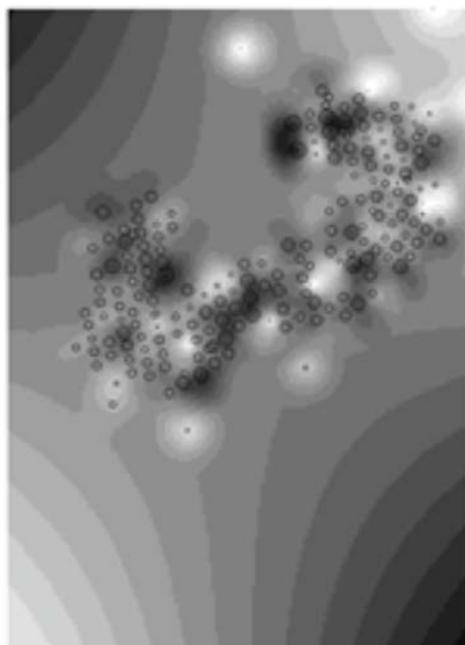


Рис. 1 - Оценка изучаемой пространственной переменной

Исходные данные для построения панельной модели, помимо показателя «Пористости» включают следующие переменные, приведенные в табл. 1.

Таблица 1
Обозначения показателей

Переменная	Обозначение в модели
Скважина	Well
Дата	Date
Характер работы	Har
Состояние	Sost
Время работы, ч	Vremya
Нефть	Neft
Вода, т	Voda t
Жидкость, т	Zhid t
Попутный газ, м3	Poputn
Закачка, м3	Zakach
% обводненности	Obvod
Жидкость, м3	Zhid m
Добыча растворенного газа, м3	Dob
Пластовое давление, атм	Plast davl
Забойное давление, атм	Zab davl
Скин-фактор	Skin_factor
Песчанность пласта	Pesch
Пористость, %	Porist
Координата забоя X	Zab X
Координата забоя Y	Zab Y
Координата пластопересечения X	Plast X
Координата пластопересечения Y	Plast Y
Кровля коллектора по траектории, м	Krovl
Мощность коллектора по стволу, м	Moshchn
Эффективная мощность коллектора,	E_moshchn

Данные факторные переменных в наибольшей степени отражают как скважинные характеристики, так и свойства пластовых систем. Средние абсолютные про-

центные ошибки для модели сквозной регрессии, модели с фиксированными эффектами и модели со случайными эффектами составили соответственно 9,05%, 24,75%, 22,58%. Для выбора конкретной модели использованы F-тест, тест Хаусмана, тест Бройша-Пагана. Несмотря на более высокий коэффициент детерминации и наименьшую среднюю абсолютную ошибку модели сквозной регрессии, результаты тестов позволяют отдать предпочтение модели со случайными эффектами.

$$\begin{aligned}
 Neft_{it} = & 3,41 * 10^{-1} + 1,93 * 10^{-4} * Vremya_{it} - \\
 & - 2,3 * 10^{-5} * Zakach_{it} - 2,78 * 10^{-3} * Obvod_{it} + \\
 & + 9,17 * 10^{-6} * Gaz_{it} - 1,02 * 10^{-3} * Plastdavl_{it} + \\
 & + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} = 0,89 + u_i(1)
 \end{aligned}$$

Панельная модель была улучшена введением пространственной матрицы. Пространственная модель строилась с использованием исходных данных, которые были применены для панельной модели. В качестве метрики соседства между скважинами была использована триангуляция Делоне. Несмотря на малую распространенность данной метрики, именно на триангуляции Делоне располагается евклидово минимальное остовное дерево. Построена матрица пространственных весов и диаграмма рассеяния Морана, которая позволяет сделать вывод о случайном характере структуры исходного показателя.

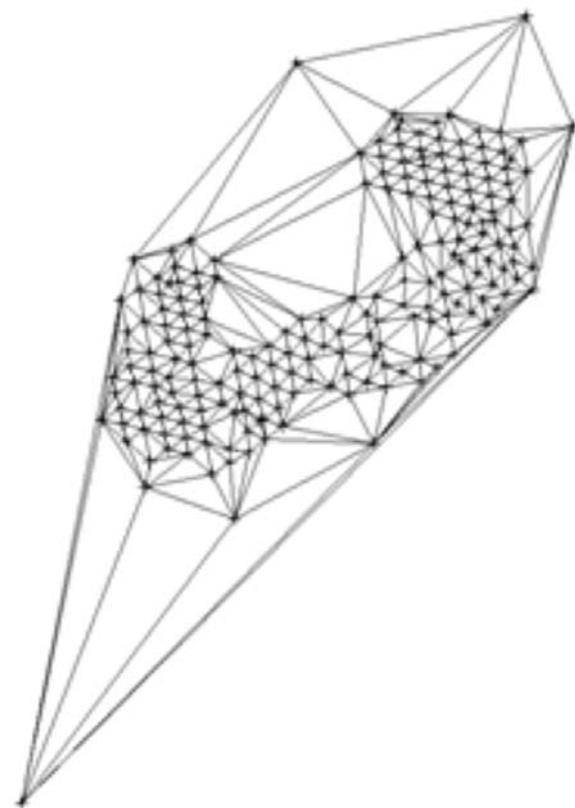


Рис. 2 - Соседи по триангуляции Делоне

Были построены следующие модели: пространственная авторегрессионная модель (SAR), пространственная модель Дарбина (SDM), пространственная ав-

торреляционная модель и модель с пространственной структурой в ошибках с фиксированными и случайными эффектами. Селекция моделей проводилась с использованием различных комбинаций факторных переменных, на основе значения коэффициента детерминации, а также информационного критерия Акайке и байесовского информационного критерия. На основе построенных моделей можно сделать вывод, что наиболее удачной спецификацией является пространственная авторегрессионная модель со случайными эффектами. Таким образом, можно сделать вывод, что введение пространственной матрицы значительно улучшило качество модели.

$$\begin{aligned}
 Neft_{it} = & 1,3 * 10^{-2} * W * Neft_{it} + 1,27 * 10^{-4} * \\
 & * Vremya_{it} - 1,52 * 10^{-5} * Zakach_{it} + \\
 & + 1,01 * 10^{-5} * Gaz_{it} - 2,17 * 10^{-2} * \\
 & * Skin_factor_{it} + u_i + \varepsilon_{it}, (2)
 \end{aligned}$$

Результаты прогнозирования позволяют сделать вывод об эффективности примененных методов и их практической и прикладной значимости, в частности для разработки методики оценки взаимовлияния скважин и определения связанности пластовых систем, являющейся одной из приоритетных задач ведущих нефтяных компаний.

Литература

1. ISO/IEC/IEEE 24765-2010 Systems and software engineering — Vocabulary.
2. Как работает инструмент Кригинг (Kriging) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm> (дата обращения: 18.06.2020).
3. Пространственная эконометрика [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://bugorwiki.info/?id=177102> (дата обращения: 17.06.2020).
4. Ратникова, Т. А., Фурманов К. К. Анализ панельных данных и данных о длительности состояний [Текст] : учеб. пособие / Т. А. Ратникова, К. К. Фурманов ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. — 373, [3] с. — 1000 экз. — ISBN 978-5-7598-1093-3 (в обл.). https://id.hse.ru/data/2015/05/06/1310816591/%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82_%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82.pdf
5. Султанов Б., Бахитова Р., Шакирова Е. Эконометрические модели выхода на рынок автодилеров / Sultanov, B., Bahitova, R., Shakirova, E., Econometric models of car market entry games (Conference Paper) // 2nd Workshop on Computer Modelling in Decision Making, CMDM 2017; Volume 2018, 2017, Pages 193-199.
6. Султанов Б., Наган А., Бахитова Р., Лакман И. Пространственные эффекты в распределении объема отгруженной продукции в Республике Башкортостан // Экономика и управление: научно-практический журнал - Уфа: РИЦ УГНТУ, 2018 - № 4 (142) - С. 87 - 90.
7. Сущность пространственной эконометрики [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://spravochnick.ru/ekonometrika/prostranstvennaya_ekonometrika/ (дата обращения: 17.06.2020).

8. Смирнова В.А., Халова Г.О. Перспективы создания газохимического кластера в Оренбургской области // Нефть, газ и бизнес. 2012. № 8. С. 3-5.

9. Аванян Э.А., Смирнова В.А., Халова Г.О. Проблемы и перспективы деятельности российских нефтегазовых компаний в Центрально-Азиатском регионе: монография / Э. А. Аванян, В. А. Смирнова, Г. О. Халова ; Российский гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. Москва, 2010.

An approach to spatial-panel analysis of oil field data

Bakhitova R.H., Sultanov B.R.

Bashkir State University

The article develops spatial and panel models of oil production based on the influence of well characteristics and properties of reservoir systems. The novelty of this study is the use of non-standard factor indicators that take into account reservoir characteristics in addition to downhole properties. To restore the missing values in the initial data, the construction of the kriging model was used. As a neighborhood metric, a rather rare type of neighborhood by Delaunay triangulation is used. The applied nature of this study is the possibility of applying its results to the development of methods for assessing the mutual influence of wells and determining the connectivity of reservoir systems, which is one of the priority tasks of leading oil companies. The forecasting results led to the conclusion about the effectiveness of the applied methods and their practical and applied significance.

Key words: oil field, reservoir system, panel model, kriging, Delaunay triangulation.

References

1. ISO / IEC / IEEE 24765-2010 Systems and software engineering - Vocabulary.
2. How the Kriging tool works [Electronic resource] - Access mode: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm> (date appeals: 06/18/2020).
3. Spatial econometrics [Electronic resource] - Access mode: <https://bugorwiki.info/?id=177102> (accessed: 06/17/2020).
4. Ratnikova, T. A., Furmanov K. K. Analysis of panel data and data on the duration of states [Text]: textbook. allowance / T. A. Ratnikova, K. K. Furmanov; Nat researched University "Higher School of Economics". - M.: Publishing House House of the Higher School of Economics, 2014. - 373, [3] p. - 1000 copies. - ISBN 978-5-7598-1093-3 (in the region). https://id.hse.ru/data/2015/05/06/1310816591/%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82_%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82.pdf
5. Sultanov B., Bakhitova R., Shakirova E. Econometric models of market entry for car dealers / Sultanov, B., Bahitova, R., Shakirova, E., Econometric models of car market entry games (Conference Paper) // 2nd Workshop on Computer Modeling in Decision Making, CMDM 2017; Volume 2018, 2017, Pages 193-199.
6. Sultanov B., Nagan A., Bakhitova R., Lakman I. Spatial effects in the distribution of the volume of shipped products in the Republic of Bashkortostan // Economics and Management: Scientific and Practical Journal - Ufa: RIC UGNTU, 2018 - No. 4 (142) - S. 87 - 90.
7. The essence of spatial econometrics [Electronic resource] - Access mode: https://spravochnick.ru/ekonometrika/prostranstvennaya_ekonometrika/ (accessed: 06/17/2020).
8. Smirnova V.A., Halova G.O. Prospects for the creation of a gas chemical cluster in the Orenburg region // Oil, gas and business. 2012. No. 8. S. 3-5.
9. Avanyan E.A., Smirnova V.A., Halova G.O. Pro-problems and prospects of Russian oil and gas companies in the Central Asian region: monograph / E. A. Avanyan, V. A. Smirnova, G. O. Khalova; Russian state un-t of oil and gas them. I. M. Gubkin. Moscow, 2010.