

ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ТРАНСФОРМАЦИИ «НОВЫХ» ЗНАНИЙ В КОММЕРЧЕСКИЕ ЗАПАСЫ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Д. В. Мильяев^{1,2}, Д. И. Душенин^{1,2}¹Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Россия; ²Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Рассматриваются особенности развития экономики знаний в нефтегазовом секторе. Предлагается архитектура математической модели генерации и трансформации «новых» знаний об углеводородных объектах в коммерческие запасы. Описываются методы формирования требований к искомому знанию и предлагается гибридная модель с байесовскими сетями для поиска условий достижения заданных критериев. Прикладное значение работы заключается в выработке подходов к стимулированию перехода некоммерческих природных ресурсов в запасы промышленных категорий.

Ключевые слова: экономика знаний, инновации, новые технологии, трудноизвлекаемые запасы, математическое моделирование, агентная модель, байесовская сеть, рентабельность, коммерческие запасы.

«NEW» KNOWLEDGES INTO COMMERCIAL RESERVES OF MINERAL RESOURCES

D. V. Milyaev^{1,2}, D. I. Dushenin^{1,2}¹Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS, Novosibirsk, Russia; ²Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The article considers features of development of the knowledge economy in the oil and gas sector. The architecture of mathematical model for the generation and transformation of “new” knowledges about hydrocarbon targets into commercial reserves is proposed. Methods of forming the requirements for the desired knowledge are described and a hybrid of the agent-based model with Bayesian networks is suggested to search for conditions for achieving the specified criteria. The applied significance of work is to develop approaches to stimulate the transition of non-profit natural resources to reserves of recoverable categories.

Keywords: knowledge economy, innovations, new technologies, hard-to-recover reserves, mathematical modeling, agent model, Bayesian network, profitability, commercial reserves.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-95-100

Явление экономики знаний не только пассивно наблюдаемое со стороны, но и управляемое. Умение и возможность воздействовать на генерацию знаний позволяет осмысленно стимулировать технологический прогресс [12].

Правильное представление об аспектах взаимодействия всех составляющих процесса получения знаний в нефтегазовых проектах позволит описать это явление математическим языком и, как следствие, численно оценить влияние основных факторов на скорость развития новых технологий освоения углеводородных ресурсов. В результате должна сформироваться модель управляемого воздействия на прирост коммерческих запасов полезных ископаемых за счет накопления, обработки и анализа информации.

Механизмы генерации знаний

Генерация новых знаний – естественная форма существования человеческого ресурса, обуславливающая формирование национальной инновационной системы [7]. Человеческий ресурс выступает в ней в качестве элемента и поддерживает ее жизнедеятельность путем генерации новых знаний. Такой механизм обеспечивает непрерывность саморазвития системы за счет устойчивого функциони-

рования и повышения внутрисистемного качества. Следствием является трансформация новых знаний в инновации, которые постепенно проникают во все сферы жизнедеятельности. Эффективность данных процессов зависит в большей степени не от количества новых знаний, а от их слаженного взаимодействия в различных направлениях внедрения. При этом ввиду процесса диффузии инноваций [17] возникает синергетический эффект.

На практике выделяются два основных направления формирования и распространения новых знаний в нефтегазовом секторе [4]. Первое заключается в совершенствовании технологий поиска, разведки и добычи углеводородного сырья; второе – в поощрении инициативы компаний, которые принимают на себя риски практической реализации проектов, ранее считавшихся неэффективными. Стимулирующий фактор для первого направления – качественное взаимодействие участников процесса (недропользователей, государства и научных центров), которые, объединяя усилия, создают благоприятные условия для разработки, экспертизы и последующего внедрения новых технологий в производство. Второе направление может поддерживаться государством, например, посредством гибкого налогообложения и адаптации системы лицензиро-

вания под задачи апробации опытных технологий и освоения трудноизвлекаемых запасов.

Логичным следствием усовершенствования и удешевления технологий становится переход природных ресурсов из категорий непромышленных и нерентабельных в извлекаемые коммерческие запасы. Так, глобальный рост добычи сланцевых нефти и газа, который начался в 2002 г. в США, был связан с развитием технологии бурения горизонтальных скважин, многостадийным гидроразрывом и закачкой пропантов [2]. Разработка методов, позволяющих снизить себестоимость освоения сланцевых формаций, в России также является одной из приоритетных задач. Наибольшие перспективы в данном направлении связывают с баженовской свитой Западной Сибири, куонамской свитой Восточной Сибири и доманиковской свитой в Урало-Поволжье. В настоящее время технология их рентабельной добычи еще не получена, но предприняты попытки оценить максимально допустимый уровень вложений в ее промышленное внедрение [5].

В будущем развитие технологий, вероятно, сделает прибыльным освоение других в настоящее время нетрадиционных объектов углеводородного сырья. В ближайшей перспективе – промышленная добыча газовых гидратов [8] и освоение уникального по объему углеводородных ресурсов шельфа Арктики, которому препятствуют как технологические ограничения, так и экстремальные климатические условия в совокупности с отсутствием инфраструктуры [3].

Вполне естественно, что очередность освоения углеводородных объектов подчиняется принципу «от простого к сложному». Сначала в промышленную разработку вводятся наименее трудные по геологическому строению объекты, работа с которыми связана с меньшими рисками. По мере истощения «простых» ресурсов добывающие компании вынуждены развивать технологии и инициировать проекты по эксплуатации все более сложных скоплений нефти и газа. Этот процесс может поддаваться стимулированию и, по мнению авторов, должен быть описан математическим языком.

Данная задача условно разделяется на два блока:

- разработка инструментальных методов поиска критериев накопления знаний, необходимых для успешного освоения объекта;

- создание математической модели трансформации «новых» знаний в коммерческие запасы.

Решение первой задачи позволит сформулировать требования к новым объектам, технологиям и формам взаимодействия субъектов, а второй – наметить пути достижения обозначенных требований.

Формирование критериев для управляемого накопления знаний

Для поиска критериев, предъявляемых к новым знаниям и процессу их накопления, требуется:

- подготовка информационной базы, включая сбор и систематизацию материалов, характеризующих различные типы углеводородных ресурсов (в том числе нетрадиционных), технологий и допустимых организационно-правовых механизмов;

- создание производственно-инвестиционной модели нефтегазового проекта, осуществляющей прогноз деятельности по изучению и промышленному освоению углеводородного объекта, с последующей оценкой эффективности;

- внедрение в модель алгоритмов порогового анализа, определяющих требования к внедряемым инновациям (технологическим и организационно-правовым решениям).

Нетривиальность работы с геологическими данными обусловлена рядом факторов, таких как ограниченность, достоверность, точность, неопределенность и информативность, а также спецификой администрирования оборота геологической информации в России. Поэтому подготовка информационной основы исследования в российских реалиях представляет собой научную проблему, изучению которой мы считаем необходимым посвятить отдельный труд, а в рамках данной статьи отметим лишь основные аспекты, влияющие на процесс статистической обработки данных.

Корректная подготовка исходной информации должна опираться на статистику поисков и добычи углеводородного сырья на территории, близкой к исследуемой по географическим и геологическим признакам. Значения геологических характеристик, поступающие для дальнейшего расчета, могут подбираться либо посредством метода аналогий с уже разрабатываемыми месторождениями, либо с помощью методов вероятностно-статистического анализа и многопараметрической регрессии, изложенных, например, в работах [1, 13].

Главными трудностями начальных этапов нефтегазовых проектов являются неопределенности природного характера: глубина залегания, эффективная толщина, фильтрационно-емкостные свойства коллектора, физико-химические свойства углеводородов и т. д. С математической точки зрения это означает, что практически любая численная характеристика прогнозной углеводородной залежи описывается не одним фиксированным значением, а диапазоном, границы которого сужаются по мере изучения структуры. И, соответственно, чем сложнее объект, тем шире начальные диапазоны.

Производственно-инвестиционная модель должна последовательно решать следующие задачи [14]:

- прогноз геолого-разведочных работ (ГРП) и прироста запасов;

- прогноз подготовки объекта промысла к эксплуатации;

- прогноз технологических показателей разработки;



– прогноз затрат и показателей экономической эффективности.

Первая из перечисленных задач заключается в планировании действий, необходимых для перевода углеводородных ресурсов в категорию разведанных запасов, и должна осуществляться с учетом продолжительности, сезонности и стадийности работ¹. Для объектов со сложным геологическим строением важно учитывать опыт подобных проектов, а также повышенные геологические риски, обуславливающие необходимость более детального изучения. Распространенный в нефтегазовых компаниях методический подход к построению ГРП раскрыт в [15].

Моделирование процесса подготовки месторождения к эксплуатации регламентировано правилами проектирования обустройства промысла [9] и предполагает строительство всех основных объектов обустройства (дожимной насосной станции, установки подготовки и центрального пункта сбора нефти, газотурбинной электростанции и т. д.). Тем не менее при проведении оценки эффективности проектов по освоению недр на ранних этапах их изучения разумно ограничиться приемлемым уровнем детализации и пренебречь несущественными деталями.

Моделирование разработки углеводородных месторождений заключается в динамическом прогнозе технологического процесса на промысле: изменение с течением времени объема добытого сырья, пластового давления, физико-химических свойств добываемой продукции, количества пробуренных скважин и т. д. При прогнозе объема добычи важно учитывать уникальность сочетания геолого-промысловых характеристик, поэтому в качестве алгоритмической основы лучше всего подходят основные уравнения геомеханики, подземной гидро- и газовой динамики (различные интерпретации закона Дарси) и уравнение материального баланса [10]. С учетом высокой степени неопределенности допустимы некоторые обобщения. Например, для большинства случаев прогнозную залежь можно представлять как геометрический объект правильной формы с однородными фильтрационно-емкостными свойствами по всему объему.

Вместе с тем необходимо учитывать конечную цель создания данной модели – прогноз разработки месторождений инновационными методами. В связи с этим ее алгоритмы должны позволять исследователю искусственно менять эффективность добычи относительно различных аспектов процесса: увеличивать нефтеотдачу пласта и коэффициент извлечения, снижать темпы падения пластового давления и обводненность добываемого сырья, повышать результативность геолого-технических мероприятий и т. д.

Корректный прогноз затратной части проекта изучения и освоения недр должен проводиться исходя из производственной отчетности добывающих предприятий по смежным участкам с идентичными геолого-промысловыми характеристиками. При этом необходимо учитывать состояние инфраструктуры, дальность заброски грузов и персонала, а также проанализировать возможные направления и способы транспортировки добываемого сырья для выбора оптимальных, так как данные аспекты в совокупности могут обуславливать значительную разницу в себестоимости продукции. Так, в [18] представлен методический подход к пониманию структуры затрат на добычу нефти и проведен анализ их изменений во времени.

Прогноз показателей экономической эффективности и финансового анализа следует осуществлять согласно общепринятому подходу [21] с адаптацией к регулятивным особенностям недропользования в России. В то же время модель должна допускать применение различных организационно-правовых форм взаимодействия субъектов, в том числе создание совместных предприятий, привлечение инвестиций и технологий, вариативность налоговой нагрузки.

В качестве результирующих показателей можно рассматривать норму доходности, индекс доходности инвестиций, вероятность нерентабельности проекта, объем рискованного капитала и чистый дисконтированный доход.

После реализации производственно-инвестиционной модели необходимо перейти к обратной задаче: определить, какими мерами воздействия возможно добиться заданного результата. Под результатом в данном контексте может пониматься, например, достижение установленного коэффициента извлечения углеводородов, удержание темпа отбора, соблюдение лимитов финансирования, срок окупаемости проекта, внутренняя норма рентабельности или комбинация нескольких требований. Другими словами, необходимо определить соотношения характеристик исходных данных (геологических, технологических, экономических), при которых изучение и освоение углеводородного объекта будет удовлетворять заданному условию на результат [16].

Применяемая к подобным задачам процедура поиска решений называется пороговым анализом. Он заключается в одновременном варьировании ключевых показателей проекта и поиске их сочетаний, обеспечивающих заданный результат. Самый простой способ решения такой задачи – метод перебора. Но когда количество варьируемых параметров достигает десяти и более, процесс поиска решений становится недопустимо длительным. В качестве альтернативы авторы предлагают воспользоваться монотонной зависимостью эффективности нефтегазовых проектов от некоторых исходных показателей и исключить значительную часть возможных сочетаний варьируемых параметров уже в начале расчета [6].

¹Приложение 1 к Приказу МПР России от 7 февраля 2001 г. № 126 «Временное положение об этапах и стадиях геолого-разведочных работ на нефть и газ».

Подводя итог, отметим, что практическое применение перечисленных подходов позволит сформировать перечень конкретных требований к освоению различных типов углеводородных объектов.

Подходы к моделированию трансформации «новых» знаний в коммерческие запасы

В качестве математического аппарата, моделирующего взаимосвязь генерации новых знаний с приростом новых коммерческих запасов, предлагается использовать агентную модель. Агентное моделирование имитирует взаимодействие множества субъектов, каждый из которых обладает уникальными характеристиками, такими как обеспеченность финансовыми ресурсами, технологическая и техническая оснащенность, набор прав и обязательств, способность влиять на те или иные события и состояние изучаемой системы.

Адекватность подхода подтверждается примерами практического использования подобной методики для решения задач, близких к поставленной в данной статье. В частности, агентные модели строятся для прогнозирования поведения связанных индивидуумов: предсказания последствий политических решений [19] или выбора наиболее оптимальных для технологического роста вариантов взаимодействия регионов и центров развития новых технологий [20]. Неоднородность агентов затрудняет прогноз их совместного поведения и, как следствие, приводит к неоптимальности действий каждого в отдельности. Ситуация осложняется экзистенциальной и технологической неопределенностью: участникам процесса заранее неизвестно, какие именно действия необходимо совершить, чтобы получить желаемый результат.

Существуют примеры успешного применения агентного моделирования совместно с другими математическими инструментами. Например, поведение агентов можно прогнозировать с помощью байесовских сетей [11], представляющих собой взвешенные ациклические ориентированные графы. Вершины такого графа представляют собой переменные, описывающие состояние агентов, а ребра между вершинами – вероятностную зависимость между ними, численная характеристика которой определяет веса ребер.

В архитектуре разрабатываемой нами модели в качестве агентов выступают предприятия нефтегазового сектора, которые будут делиться на группы по принадлежности к определенному типу:

- вертикально интегрированные холдинги,
- транснациональные корпорации,
- мелкие и средние добывающие предприятия,
- научно-технические центры,
- научно-исследовательские институты,
- сервисные компании.

В процессе моделирования разработки новых технологий освоения очередного типа углеводородных ресурсов исследователь инициирует взаи-

модействие различных видов агентов, в результате чего будут образованы технологические кластеры. Прогноз результата взаимодействия внутри каждого кластера предлагается осуществлять с помощью байесовской сети.

Структура байесовских сетей строится по принципу «дерева» с единственной точкой в качестве входа и набором вершин-состояний в качестве возможных выходов:

- корень дерева, соответствующий исходному уровню знаний внутри кластера;

- промежуточные узлы дерева, характеризующие вовлеченность той или иной компании в технологический кластер либо выборочный результат взаимодействия предприятий внутри кластера; результатом в нашем случае может являться удешевление технологий поиска и добычи, повышение дебитов добывающих скважин, увеличение коэффициентов извлечения нефти на определенную величину и т. д.;

- концевые узлы дерева, описывающие возможные конечные результаты разработки новых технологий внутри кластера.

Сумма весов всех ребер, выходящих из вершины, должна быть равна 1, так как вес каждого ребра соответствует вероятности перехода между вершинами, которые он соединяет. Конкретные значения весов ребер могут быть приняты на основе статистики либо экспертно.

Таким образом, с помощью байесовских сетей планируется получить конечную характеристику состояния каждого агента в модели и, как следствие, общий результат деятельности всех агентов.

Подобный подход позволит учесть вероятностный характер получения новых технологий поисков и добычи сырья в результате различных форм взаимодействия между участниками нефтегазовой отрасли и (совместно с вышеописанными инструментальными методами) определить пути достижения требований к рентабельному освоению различных типов углеводородных ресурсов.

Выводы

Управление инновациями в целях рентабельного освоения проблемных объектов углеводородного сырья подразумевает симбиоз аналитических и численных методов, один из вариантов которого изложен в статье.

Предлагается начать с вычисления критериев управляемой генерации знаний, которые обеспечат искомый результат. Это может быть реализовано посредством моделирования производственных и финансовых показателей проекта, установки ограничений на параметры модели и расчета пороговых значений исходных характеристик. Прикладной результат заключается в требованиях к изучаемым геологическим объектам, потенциально возможным технологиям их поиска и разработки, формам организационно-правового взаимодействия участников процесса.

Вторым шагом авторы видят поиск условий достижения полученных критериев. Учитывая сложность формализации перехода от знаний к реальному производству и возникновению сырьевого актива, в качестве математического аппарата предложен гибридный агентной модели с байесовскими сетями. Сопоставляя движение по ветвям графа с вероятностью достижения поставленных целей, можно оценить целесообразность тех или иных мер направленного воздействия на развитие экономики знаний в нефтегазовом секторе.

Потенциал совершенствования изложенного подхода заключается в формальном описании и программировании математической модели, конкретизации процедур и алгоритмов под задачу освоения определенной категории трудноизвлекаемых ресурсов.

Работа выполнена в Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН при поддержке Российского научного фонда (РНФ), грант № 19-18-00170.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геостатистика: теория и практика. – М.: Наука, 2010. – 327 с.
2. Дмитриевский А. Н., Высоцкий В. И. Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья // Газовая промышленность. – 2010. – Т. 8. – С. 44–47.
3. Конторович А. Э. Нефть и газ российской Арктики: история освоения в XX веке, ресурсы, стратегия на XXI век // Наука из первых рук. – 2015. – № 61 (1). – С. 46–65.
4. Крюков В. А. Экономика знаний и минерально-сырьевой сектор – особенности взаимодействия в современных условиях // Вестн. Омского ун-та. Сер. Экономика. – 2016. – № 1 – С. 52–59
5. Мильяев Д. В., Савельева А. Д. Оценка перспективности освоения сланцевой нефти куонамской свиты Восточной Сибири в современных условиях // Вестн. ТГУ. Экономика. – 2017. – № 40. – С. 68–82.
6. Мильяев Д. В., Душенин Д. И., Киданова О. А. Эффект накопления знаний при определении критериев рентабельности сырьевых проектов // Мир экономики и управления. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 54–69.
7. Мишулин Г. М., Таранухин Д. С. Теоретико-методологические подходы к системообразованию в инновационном процессе // Вестник Адыгейского гос. ун-та. Сер. 5. Экономика. – 2011. – № 4. – С. 204–209.
8. Обзор потенциальных возможностей энергоснабжения посредством использования газогидратов для Японии / А. В. Пантелеева, К. И. Кульчицкая, А. К. Иванова и др. // Вестник евразийской науки. – 2018. – Т. 10, № 6. – С. 1–7.
9. Ситенков В. Т. Проектирование обустройства нефтяных месторождений. – Нижневартовск: Самиздат, 2012. – 457 с.

10. Ahmed T., McKinney P. Advanced reservoir engineering. – Elsevier, 2011. – 424 p. – Available at: https://books.google.ru/books/about/Advanced_Reservoir_Engineering.html?id=UZ7w8hXvRbMC_redir_esc=y.

11. Bayesian networks for spatial learning: a workflow on using limited survey data for intelligent learning in spatial agent-based models / S. A. Abdulkareem, Y. T. Mustafa, E. W. Augustijn, T. Filatova // Geoinformatica. – 2019. – Vol. 23, no. 2. – P. 243–268.

12. Cooke P., Leydesdorff L. Regional development in the knowledge-based economy: The construction of advantage // The journal of technology transfer. – 2006. – Vol. 31, no. 1. – P. 5–15.

13. Dubrule O. Geostatistics in petroleum geology // AAPG. – 1998. – No. 38. – 250 p.

14. Dushenin D., Milyaev D. Automation of the analysis of the efficiency of geological exploration for oil and gas // Geomodel 2018. – Vol. 2018. – P. 1–5.

15. Leach H. Exploration technical handbook // TNK-BP, ON Communication. – Moscow, 2006. – 218 p.

16. Milyaev D. Risk reduction in hydrocarbons prospecting by evaluation of geological and economic constraints // Geomodel 2018. – Vol. 2018. – P. 1–5.

17. Rogers E. M. Diffusion of innovations. – Simon and Schuster, 2010. – 518 p.

18. Tight oil market dynamics: Benchmarks, breakeven points, and inelasticities / R. L. Kleinberg, S. Paltsev, C. K. E. Ebinger et al. // Energy Economics. – 2018. – Vol. 70. – P. 70–83.

19. Vermeulen B., Pyka A. Agent-based modeling for decision making in economics under uncertainty // Economics: the open-access, open-assessment E-Journal. – 2016. – Vol. 10, no. 2016–6. – P. 1–33.

20. Vermeulen B., Pyka A. The role of network topology and the spatial distribution and structure of knowledge in regional innovation policy: a calibrated agent-based model study // Computational Economics. – 2018. – Vol. 52, no. 3. – P. 773–808.

21. Watsham T. J., Parramore K. Quantitative methods in finance. – Cengage Learning EMEA, 1997. – 395 p.

REFERENCES

1. Demyanov V.V., Savelyeva E.A. *Geostatistika: teoriya i praktika* [Geostatistics: theory and practice]. Moscow, Nauka Publ., 327 p. (In Russ.).
2. Dmitrievskiy A.N., Vysotskiy V.I. [Shale gas as a new vector of development of global market of raw hydrocarbons]. *Gazovaya promyshlennost – Gas Industry of Russia*, 2010, no. 8, pp. 44–47. (In Russ.).
3. Kontorovich A.E. [Oil and gas of the Russian Arctic: history of development in the XX century, resources, strategy for the XXI century]. *Nauka iz pervykh ruk – Science first hand*, 2015, no. 1 (61), pp. 46–65. (In Russ.).
4. Kryukov V.A. [Knowledge economy and mining sector – features of interaction in modern conditions].

Vestnik Omskogo universiteta. Seria Economica, 2016, no. 1, pp. 52–59. (In Russ.).

5. Milyaev D.V., Savelyeva A.D. [Prospectivity assessment of the shale oil development in the Kuonam-skaya Formation of East Siberia in present-day conditions]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 2017, no. 40, pp. 68–82. (In Russ.).

6. Milyaev D.V., Dushenin D.I., Kidanova O.A. [Knowledge accumulation effect in case of the profitability criteria definition of a mineral-raw materials projects]. *Mir ekonomiki i upravleniya – World of Economics and Management*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 54–69. (In Russ.).

7. Mishulin G.M., Taranukhin D.S. [Theoretical and methodological approaches to system formation in the innovation process]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5: Ekonomika*, 2011, no. 4, pp. 204–209. (In Russ.).

8. Panteleeva A.V., Kulchitskaya K.I., Ivanova A.K., et al. [An overview of the potential for energy supply through the use of gas hydrates for Japan]. *Vestnik evraziyskoy nauki*, 2018, vol. 10, no. 6, pp. 1–7. (In Russ.).

9. Sitenkov V.T. *Proektirovanie obustroystva nefty-anykh mestorozhdeniy* [Oilfield construction projecting]. Nizhnevartovsk, SAMIZDAT Publ., 2012. 457 p. (In Russ.).

10. Ahmed T., McKinney P. Advanced reservoir engineering. *Elsevier Publ.*, 2011. – 424 p. Available at: https://books.google.ru/books/about/Advanced_Reservoir_Engineering.html?id=UZ7w8hXvRbMCredir_esc=y.

11. Abdulkareem S.A., Mustafa Y.T., Augustijn E.W., Filatova T. Bayesian networks for spatial learning:

a workflow on using limited survey data for intelligent learning in spatial agent-based models. *Geoinformatica*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 243–268.

12. Cooke P., Leydesdorff L. Regional development in the knowledge-based economy: the construction of advantage. *The journal of technology Transfer*, 2006, vol. 31, no. 1, pp. 5–15.

13. Dubrule O. Geostatistics in petroleum geology. *AAPG*, 1998, no. 38. 250 p.

14. Dushenin D., Milyaev D. Automation of the analysis of the efficiency of geological exploration for oil and gas. *Geomodel*, 2018, pp. 1–5.

15. Leach H. Exploration technical handbook. *TNK-BP, ON Communication*, Moscow, 2006. 218 p.

16. Milyaev D. Risk reduction in hydrocarbons prospecting by evaluation of geological and economic constraints. *Geomodel* 2018, pp. 1–5.

17. Rogers E.M. Diffusion of innovations. Simon and Schuster, 2010. 518 p.

18. Kleinberg R.L., Paltsev S., Ebinger C.K.E., et al. Tight oil market dynamics: Benchmarks, breakeven points, and inelasticities. *Energy Economics*, 2018, vol. 70, pp. 70–83.

19. Vermeulen B., Pyka A. Agent-based modeling for decision making in economics under uncertainty. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 2016, vol. 10, no. 2016–6, pp. 1–33.

20. Vermeulen B., Pyka A. The role of network topology and the spatial distribution and structure of knowledge in regional innovation policy: a calibrated agent-based model study. *Computational Economics*, 2018, vol. 52, no. 3, pp. 773–808.

21. Watsham T. J., Parramore K. Quantitative methods in finance. *Cengage Learning EMEA*, 1997. 395 p.

© Д. В. Миляев, Д. И. Душенин, 2020