

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ**

Специальность: 2521.01 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых
месторождений

Отрасль науки: Науки о Земле

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора наук

Соискатель: к.ф.-м.н., доц. **Багиров Эльчин Багир оглу**

Научный консультант: академик, д.г.-м.н., проф. **Гулиев Ибрагим
Саид оглу**

Баку – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
...	
I ГЛАВА. История и современное состояние вопроса оценки геологических рисков	9
II ГЛАВА. Теоретические основы оценки геологических рисков	15
2.1. Определение геологического риска и неопределенности	15
2.2. Математические и вероятностно-статистические основы оценки геологических рисков	19
2.3. Процесс оценки ресурсов и рисков в поисков-разведочной стадии освоения ресурсов	30
III ГЛАВА. Оценка геологических рисков в масштабах бассейна	37
3.1. Выделение мегакомплексов в бассейнах	37
3.2. Геологические риски, присущие различным типам бассейнов	41
3.3. Оценка геологических рисков в бассейне Среднего Каспия	57
3.4. Оценка геологических рисков в бассейне Южного Каспия	66
3.5. Экспресс-метод оценки рисков при проведении поисково-разведочных работ (На примере суши и моря Азербайджана)	71
3.6. Методика прогноза неразведанных ресурсов бассейна (на основе анализа кривых прироста запасов и распределения месторождений по запасам)	85
IV ГЛАВА. Оценка геологических рисков в масштабах комплексов осадконакопления (плеев)	94
4.1 Общие подходы к построению карт рисков в масштабах комплексов осадконакопления (плеев)	94
4.2. Геологические риски, связанные с различными условиями осадконакопления	96
4.3. Построение карт рисков (на примере Южно-Каспийского бассейна)	12
	1
4.4. Риски, связанные с региональным бассейновым моделированием	13

V ГЛАВА Оценка геологических рисков в масштабах отдельной площади	143
5.1. Общие подходы к оценкам геологических рисков перспективных структур и площадей	143
5.2. Риски, связанные с объемами поступившей в ловушку объемов углеводородов	147
5.3. Риски, связанные с флюидоупорными свойствами покрышек	174
5.4 Риски, связанные со вторичной миграцией УВ	181
5.5 Риски, связанные с резервуарами и коллекторскими свойствами	206
5.6. Риски, связанные с ловушками и временем их образования	211
5.7. Методика комплексной оценки геологических рисков и ресурсов перспективных площадей	214
5.8. Комплексная оценка ресурсов и рисков для гипотетической площади в Южном Каспии	219
5.9. Некоторые приложения к анализу экономических рисков	229
VI ГЛАВА. Методологические основы количественной оценки рисков, связанных с геологическими катаклизмами, представляющими опасность для людей, строений и сооружений	236
6.1 Оценка рисков, связанных с землетрясениями	238
6.2. Оценка частоты извержения грязевых вулканов и времени ожидания ближайшего извержения	242
6.3. Оценка рисков, связанных с опасностью воспламенения газов при извержениях грязевых вулканов	258
6.4. Оценка опасности, представляемая грязевыми потоками	282
6.5. Оценка риска, представляемого обломками пород	301
6.6. Оценка рисков, связанных с газовыми гидратами	326
6.7. Риски, связанные с мобильностью грязевых диапиров	338
6.8. Количественная оценка экономических рисков, связанных с геологической опасностью	346
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	350
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	351

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень изученности темы. Исторически скачкообразные флуктуации цен на энергоносители приводили к цикличной активности нефтяных компаний в поисково-разведочном направлении [116, с.8-14]. При высоких ценах нефтегазодобывающая промышленность активно развиваясь, могла инвестировать в дорогостоящие проекты (глубоководные, арктические, нетрадиционные углеводороды (УВ) и т.д.). В этом случае избыточные прибыли покрывали не только операционные расходы, но и неизбежные потери при неудачных поисково-разведочных работах. Однако, резкое падение цен на энергоносители в корне меняло ситуацию. При стабильно высокой себестоимости УВ компаниям приходилось и приходится прилагать большие усилия для того, чтобы работать в рамках экономической рентабельности и продолжать поисково-разведочные работы для восполнения запасов УВ. И в этом плане объективная оценка рисков становится важнейшей задачей для планирования проведения эффективных геологоразведочных работ. Проблема оценки рисков в поисково-разведочных работах заключается в долгосрочности последних, то есть, запланированные сегодня проекты и оцененные в них геологические риски на практике подтверждаются лишь через годы. В связи с этим компаниям требуется стабильная политика оценки рисков для избежания хаоса и бессистемности. Поэтому, разработка единой методологии, на основе теоретической концепции, которые компания(и) могли бы использовать последовательно в течении десятилетий, является актуальной во всем мире. В Азербайджане данный вопрос приобретает особую значимость, поскольку поисково-разведочные работы здесь переходят в новую фазу и нацелены на малоизученные комплексы (миоцен, палеоген, мезозой, предгорные зоны и т.д.), что связано с повышенным геологическим риском. Все это требует, максимально объективных и эффективных методов оценки рисков.

Другим серьезным фактором риска являются природные геологические катаклизмы, которые могут оказывать серьезную угрозу жизни, здоровью людей и окружающей среде, оборудованию и сооружениям при проведении операционных работ. Авария в 2010 году на площади Макондо в Мексиканском заливе [290, р. 1-11], и глобальные финансовые потери со стороны компании ВР по ликвидации ее последствий, напомнили отрасли о последствиях пренебрежительного отношения к геологическим рискам, которые позволят минимизировать возможные финансовые и людские потери.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования является область поисково-разведочных работ на

нефть и газ, предметом – методы оценок риска в данной области.

Цель и задачи исследования. Целью работы является создание единой теоретической базы для оценки геологических рисков, и на ее основе разработка методологии их оценки на различных этапах поисково-разведочных работ, а также рисков, связанных с природной опасностью. Решаемые задачи можно сформулировать следующим образом:

1. Разработка теоретических основ для оценки геологических рисков.
2. Составление методологии оценки рисков на различных этапах геолого-разведочных работ
3. Создание алгоритма оценок геологических рисков
4. Разработка методики оценок поисково-разведочных рисков в масштабах бассейна
5. Разработка методики оценки рисков, связанных с использованием результатов численного моделирования
6. Построение карт рисков для различных компонентов УВ систем для Южно-Каспийского бассейна
7. Разработка методики оценки геологических рисков на отдельных поисково-разведочных площадях
8. Количественная оценка рисков, связанных с геологической опасностью в Южном Каспии при проведении операционных работ

Методы исследования. Научный труд носит теоретический и методологический характер. Исследования проводились в двух направлениях: 1) анализ, систематизация и обобщение опубликованных данных и 2) построение новых геологических, геолого-математических моделей, реже использование готовых моделей. В качестве фактического материала, использовалась геолого-геофизические и геохимические данные по различным бассейнам.

Защищаемые положения:

1. Усовершенствованная теоретическая основа для оценки геологических рисков
2. Методология оценки рисков на различных стадиях поисково-разведочных

работ

3. Результаты оценки геологических рисков в Каспийском регионе

4. Методы количественной оценки геологической опасности в быстропогружающихся бассейнах

Научная новизна работы:

1. Разработаны теоретические основы оценки геологических рисков на основе метода смесей распределений случайных величин и теории случайных процессов

2. Идентифицированы наиболее значимые рисковые параметры для существования УВ систем в основных типах осадочных бассейнов мира

3. Впервые разработан метод оценки числа еще нераскрытых месторождений УВ и оценены риски проведения поисковых работ на территории Азербайджана.

4. Разработана новая методика оценки объема перспективных ресурсов в нефтегазоносных бассейнах и оценен потенциал Продуктивной Толщи (ПТ) для суши и морской акватории Азербайджана

5. Разработан алгоритм построения карт рисков на основе изучения условий осадконакопления (Common Segment Risk Maps)

6. Впервые разработан численный метод оценки рисков, связанных с использованием результатов бассейнового моделирования

7. Разработаны методы оценки рисков, связанных с аккумулярованными объемами УВ

8. Впервые оценены риски, обусловленные флюидоупорностью покрышек и путей миграции УВ в Южном Каспии

9. Разработана методика оценок геологических рисков для перспективных структур с использованием вероятностных математических методов.

10. Разработана комплексная методика использования геологических рисков в экономическом рисковом анализе (оценка монетарной ценности сейсмической информации, распределение фиксированного поискового

бюджета)

11. Разработаны методологические основы количественной оценки рисков, связанными с геологическими катаклизмами, представляющими опасность для людей, строений и сооружений

Теоретическая и практическая ценность работы. Разработанная теоретическая основа оценки геологических рисков может быть применена в различных областях геологических исследований. В течении более, чем 20-ти лет автор работал в ведущих нефтяных компаниях мира: ConocoPhillips, BHP Billiton Petroleum, BP, SOCAR, где все эти методы внедрялись и апробировались в конкретных проектах, в различных бассейнах планеты и продолжают применяться геологами SOCARa. Разработанные методы комплексной оценки ресурсов являются основным инструментом при оценке рисков в поисково-разведочных работах в компании SOCAR.

Исследования по оценке рисков, связанных с геологической опасностью, применялись нефтяными компаниями-операторами при планировании работ в Азербайджане (в первую очередь, в акватории Каспия). Это были первые работы в данной области.

Апробация работы и применение. Основные положения диссертации докладывались на Международных конференциях, симпозиумах и встречах: Вильнюсская конференция по теории вероятностей и математической статистике, 1989; международная встреча в Институте геологии «Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards», 1996; AAPG/ASPG research symposium “Oil and gas petroleum systems in rapidly subsiding basins”, 1996; Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, 1997, 2003; Международное совещание-семинар “Новейшая тектоника и ее влияние на формирование и размещение залежей нефти и газа”, 1997; Offshore Technology Seminar, 1998, 1999, 2002; AAPG regional International conference, 2000; ASPG, EAGE, NCAG International Conference, 2002; AAPG Annual Meeting, 2003, SPE/EAGE/ANGC International conference “The Caspian Region: peculiarities of the geology (the offshore and adjacent oil and gas areas)” 2017, ASPG, EAGE under

operatorship of SPE International Conference “Geology of the Caspian Sea and Adjacent Areas” 2019.

Основные положения диссертации отражены в 72 статьях и докладах, из которых 3 монографии и 17 опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях за рубежом, рекомендуемых в действующем перечне ВАК.

Название организации, где была выполнена работа

Диссертационная работа выполнена в Институте Геологии и Геофизики НАНА

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения (7321 символ), 6 глав (1-я глава – 9021 символов, 2-я глава - 27867 символов, 3-я глава – 55732 символов, 4-я глава – 45367 символов, пятая глава – 98078 символов, 6-я глава – 118931 символов), которые разбиты на 29 подглав. выводов и рекомендаций 169 символов), списка литературы. Объем диссертации составляет 383 страницы, включает 227 иллюстрации, 24 таблицы, 324 наименований использованной литературы.

І ГЛАВА. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

Оценка рисков уходит в далекое прошлое. Испокон веков купцы, предприниматели, ростовщики и их преемники банкиры интуитивно на качественном уровне оценивали риски, связанные с их предпринимательством. Наиболее раннее упоминание об оценках рисков для принятия решения исходит к древним Афинянам 2400 лет назад [147, с..2].

Основой количественной оценки рисков можно считать работы, связанные с расчетом рисков в азартных играх (расчеты выпадения определенных комбинаций в бросаниях костей, карточных играх), которые относятся к XVII веку. Наиболее ранней известной на сегодняшний день работой является трактат Гюйгенса «О расчетах в азартной игре», который в 1657 году обобщил и дополнил работы Ферма и Паскаля, заложив основы теории рисков [121, Т1. с. 26]. Эти математические выкладки были затем использованы Якобом Бернулли в его знаменитой книге «Искусство предложений» в 1713 году [48, 176 с.]. Таким образом были заложены основы науки теории вероятностей, на основе которой и были сформированы оценки рисков в различных областях человеческой деятельности: бизнесе, промышленности, охране здоровья и окружающей среды и т.д.

Собственно, теория количественной оценки и управления рисками сформировалась только после Второй Мировой войны. В 1956 году вышла работа Келли [241, с. 917-926], заложившая основу анализа рисков. Схема, используемая Келли была проста, по существу это была упрощенная схема Бернулли, но именно эта работа считается истоком анализа рисков в финансах. В 1961 году была издана книга Шлайфера [300, 382 с.], в 1963-м году – книга Мехра, Хеджеса [268, 648 с.] «Управление рисками в бизнес предприятиях», а в 1970-м году книга Раиффа [292,309 с.], заложившие основы анализа рисков и направленное на увеличение эффективности работы компаний. Следующим шагом в анализе рисков явился метод Козоллино [204, 359 с.], который наряду

с ожидаемым монетарным значением (EMV – Expected Monetary Value), предложил использовать ожидаемое значение с поправкой на риск (RAV – risk adjusted value). Главная идея этой концепции заключается в том, что компании легче идут на риск, если возможные финансовые потери ниже. Для вычисления этой величины было введено понятие «предрасположенности к риску» (risk tolerance) и предложена формула для вычисления RAV. Несколько позже появились концепции оценки вероятности успешности в бизнесе [266, 320 с.]

Концепция оценки рисков была узаконена в 1974-м году, принятием Британским парламентом Акта о Безопасности и Охране здоровья на рабочих местах [314]. Позже, уже 90-х годах XX-го века и в других странах стали законодательно требовать оценки рисков в различных областях.

Нефтяной бизнес и особенно, поисково-разведочная сфера по своей природе требует принятия решений в условиях большой неопределенности, а, следовательно, связано с высокими рисками. Потому, с самого начала, анализ рисков нашел свое применение в финансовых оценках, связанных с поисками УВ ресурсов. Одним из ранних известных работ можно назвать работы Бенелли [190, с.2228-2245]. Пионерами в данной области можно считать также Мегила и Капена. Боб Мегил с 1941 по 1984 годы работал в компаниях Carter, Humble и Exxon. А Эд Капен с 1957 по 1984 годы работал в ARCO [148, с.26-31]. В 1971 году вышло первое издание книги Мегила [267, с.15-21], которое позднее переиздавалась с дополнениями. Одновременно были опубликованы работы Капена. Именно в этих работах, а также в книге Харбуха и др. [230, 269 с.] заложились основы оценки рисков в поисково-разведочных работах. Принятие решений предлагалось на основе трех параметров – расходов, ожидаемого размера открытия и риска (вероятности успеха), то есть, принцип, заложенный Келли [241, с. 917-926].

Следующим шагом в применении анализа рисков в поисково-разведочной геологии явился метод Козоллино [204, 359 с., 205, с.14-25], который предложил использовать ожидаемое значение с поправкой на риск (RAV – risk adjusted value) в нефтяной экономике, о чем упоминалось выше. Большой вклад в

развитие экономического анализа рисков был сделан Питером Роузом [293, с.1-16, 294, 164 с.]. Эти книга, а также серия статей Лерча и Мак-Кейна, которые затем были собраны в монографию [260, 403 с.] положили основу современного рискового анализа в нефтяной геологии.

Несмотря на то, что на основе формулы Коззолино был разработан целый ряд процедур и алгоритмов по выбору оптимального доли и балансированию портфолио компаний, этот метод не приобрел широкое применение в нефтяных компаниях. В работе [251, 13р.] были описаны недостатки метода Коззолино и причины ограниченного использования его. Вместо этого был предложен новый метод «корпоративного доверия» (the corporate confidence method), который устраняет недостатки метода Коззолино.

Необходимо отметить, что Иен Лерч был профессором в университете Южной Каролины, Джим МакКей долгие годы работал в Техасо, а Питер Роуз начинал свою карьеру в компании Shell, а с 1980 года продолжил работу, как независимый консультант.

Таким образом, можно отметить, что анализ рисков возник не в университетских стенах (исключением можно считать огромный вклад профессора Иена Лерча), а в отдельных компаниях. В 1984 году ведущие специалисты анализа рисков Питер Роуз, Боб Мегил и Эд Капен объединившись создали школу AAPG по данному предмету, а в 1990 году Питер Роуз организовал консалтинговую компанию PetroRisk Partners, и привлек к ней лучшие кадры в этой сфере. Эта компания в 2003-м году трансформировалась в Rose&Associates LLP, которая активно действует и по сегодняшний день.

До сих пор, здесь отмечались исследования в оценках рисков в нефтегазовой промышленности, в целом. Отметим, что риски, с которыми сталкиваются нефтегазовые компании можно подразделить [31, с.3, 2, с. 54] на следующие:

- Политические риски
- Экономические риски
 - Риски, связанные с ценами на энергоносители

- Риски, связанные с себестоимостью извлекаемых УВ
- Риски, связанные со снабжением
- Риски, связанные с потребностью в энергоносителях
- Геологические риски
 - Риски, связанные с геологической неопределенностью
 - Риски, связанные с геологическими катастрофическими явлениями
- Технологические риски
 - Связанные с некачественным оборудованием
 - Связанные с человеческим фактором
 - Ошибки, допущенные при проектировании
 - Операционные работы, проводимые с отклонением от проектов

Поскольку темой диссертации являются геологические риски, остановимся подробнее на истории этого вопроса. Естественно, эти вопросы также являлись в центре внимания нефтяных компаний, но к этому вопросу проявляла больший интерес и академическая наука. Одной из первых публикаций, наверно можно назвать уже цитируемую здесь книгу Харбуха и других [230, 269 с., 229, 452 с.]. В этих работах были очерчены все геологические факторы риска, которые влияют на принятие решения при поисково-разведочном процессе и было обращено внимание на вероятностную природу геологической неопределенности.

Количественная оценка неопределенности развивалась в двух направлениях: математико-статистические методами оценки и методами компьютерной симуляции (метод Монте-Карло).

Начальной точкой отсчета статистических методов можно считать работы Крамбейна [85, 400с.], Вистелиуса [52, 389 с.], Дэвиса [96, 656 p.], Родионова [102, 158 с.]. Позже это направление стало бурно развиваться. Издавались специализированные журналы *Mathematical Geology*, *Computer and Geoscience*. Одним из первых работ, где описывается подход компьютерной симуляции можно считать книгу Харбуха, Банем-Картера [228 ,575 p].

Методика симуляции методом Монте-Карло является одним из основных при подсчете геологических рисков. Вместе со временем все большее место в принятии решений стали занимать бассейновые модели. Встал вопрос об оценке рисков, связанных с применением этих моделей, с оценкой неопределенности результатов этого моделирования. Решение этой проблемы на основе подхода Монте-Карло возможно только для простых моделей (как например в пакете программ Trinity). Вычислительный процесс полных трехмерных моделей занимает несколько часов, или даже суток, а результаты моделирования составляют гигабайты информации. Таким образом, повторение вычислений тысячи раз (что требует метод Монте-Карло) является задачей трудновыполнимой. Первый подход для решения этой задачи был сделан для одномерных моделей [201, с. 523-542], и для двухмерных и трехмерных моделей автором этой работы совместно с профессором Лерчем [179, с.10-11, 167, с. 573-578., 176, с. 35-68]. Впоследствии этот метод и лег в основу оценок рисков в программах Petromod (Schlumberger) и Temis (Basip-Franlab). Отметим еще важные работы в области оценки геологических рисков: [167, с.573-578, 146, с.177-187, 286, с. 525-535].

Как было отмечено, начиная с 90-х годов все компании начали активно внедрять анализ рисков в свой процесс принятия решений. В конце 90-х годов автор данной диссертации проводил исследования в группе, которая разрабатывала методологию и компьютерную программу в компании Коноко. Такие же изыскания шли параллельно в других ведущих компаниях в условиях строгой конфиденциальности. Примерно в это же время, компания Шлюмберже начала работу над программой по оценке геологических рисков, которая совершенствуясь трансформировалась в программу GeoX. На сегодняшний день это, пожалуй, единственный общепринятый программный продукт, который используется многими ведущими нефтяными компаниями.

Другим направлением оценки анализа геологических рисков является рассматривание возможных потерь в результате геологических явлений и катаклизмов (землетрясения, извержения вулканов, грязевые потоки и т.д.).

Безусловно, этими вопросами специалисты занимались долгие годы. Инженерные геологи проводили съемки и сегодня продолжают исследования по возможным осложнениям при строительстве объектов инфраструктур, бурении. Сейсмологи осуществляют наблюдения, строят модели по землетрясениям и делают прогнозы этих землетрясений.

В 1993-м году автором диссертации совместно с Надировым Р.С, по заказу компании ВР были выполнены оценки рисков, связанные с извержениями грязевых вулканов на территории Азербайджана. В работе впервые были применены случайные процессы и разработана методика статистического анализа данных с пропусками. Эта работа явилась первой в череде исследований, которые были проведены в области оценки геологической опасности и включены в данную диссертацию [181, с. 535-583, 182, с. 585-606]. Позднее работы были собраны в монографии [260, 403 с.]

ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

2.1. Определение геологического риска и неопределенности

Под риском понимают шанс негативного исхода какого-либо бизнес мероприятия, который может привести к финансовым потерям, нанести ущерб жизни и здоровью людей, или оказать негативное влияние на окружающую среду. Под геологическим успехом, соответственно понимают открытие скоплений УВ [270, р. 453-476, 272, р.145-176]. Процесс качественной или количественной оценки рисков и негативных последствий называется риск-анализом. Собственно, под словом «риск» в большинстве случаев понимают вероятность отрицательного исхода.

Анализ и оценка рисков часто связывают с неопределенностью [313, р. 975-980]. Под неопределенностью понимают результат, который может давать различные значения при одних и тех же условиях эксперимента, иными словами, когда мы имеем дело со случайными величинами. Природа неопределенности может быть, как естественной, так и связана с недостатком данных. В последнем случае, дополнительные исследования могут уменьшить неопределенность [271, р. 1905-1916, 273, р. 449-475]. Но это не означает, что уменьшение неопределенности приведет к уменьшению рисков [74, с.16-23]. В дальнейшем мы увидим примеры, когда с уменьшением неопределенностей, риски могут увеличиваться или уменьшаться.

Геологический риск обусловлен, в первую очередь, неопределенностью геологических параметров. Геологические процессы сложны и непредсказуемы. Случайная составляющая этих процессов часто перекрывает закономерную. Поэтому в каждой точке пространства, где нет непосредственного замера того или иного геологического параметра, мы не можем точно спрогнозировать его значение. Но можно задать вероятностное распределение этого параметра в каждой точке пространства. На этой основе автором было дано определение

статического и динамического геологического пространства, в виде многомерного случайного поля [150, р.6-9]. Каждой точке трехмерного пространства соответствует целый набор случайных распределений, соответствующих тому или иному геологическому параметру, причем эти случайные величины могут быть как независимыми, так и зависимыми. Иными словами, предлагается в каждой пространственно-временной точке отдельно взятый параметр описывать не одним значением, а случайным распределением. Модель геологического пространства, описанного в [150, р.6-9] позволяет также использовать взаимозависимость и корреляцию случайных величин, описывающих различные геологические параметры, что крайне важно в оценках риска.

За меру неопределенности можно принять любой параметр распределения, описывающий разброс этого параметра вокруг среднего или наиболее вероятного значения: дисперсия, среднеквадратическое отклонение, разброс между минимальным и максимальным значениями.

Не ограничивая общности теоретических рассуждений, мы остановимся на рисках в поисково-разведочных работах, где опасная природа явлений особенно ярко проявляется. Действительно, поисково-разведочные работы на нефть и газ, по своей природе и сути, связаны с риском [230, 269 р.]. Невозможно достоверно прогнозировать наличие УВ в каких-либо территориях, и тем более определить объемы этих спрогнозированных УВ. Развивающиеся в последние десятилетия прямые методы поисков, и в частности, анализ сейсморазведочных атрибутов помогают снизить риск, но все еще не устраняют его. В мире известно много случаев, когда поисковые скважины закладывались по положительным результатам анализа сейсмических амплитуд и в итоге не находились даже следы УВ, как например в Фолклендских островах, либо находили остаточные УВ разрушенной палео-залежи. Когда оцениваются перспективы того или иного поисково-разведочного мероприятия, необходимо оценить две составляющие: ожидаемые объемы и риск. Эти две составляющие, в совокупности с третьей – стоимостью самого проекта, являются краеугольными камнями при принятии

решения о проведении данного мероприятия, или его отклонении. Впрочем, эти три составляющие не являются независимыми. Если стоимость проекта нулевая (партнер берет на себя все расходы), то по сути никакого риска и нет. Экономический, или финансовый риск – это шанс потерять деньги. Если компания деньги не вкладывает и не несет каких-либо обязательств в случае неудачи, то его риск сводится к нулю. С другой стороны, риск часто зависит и от прогнозируемых объемов открытия. Действительно, если при одних и тех же условиях, прогноз меньшего объема более вероятен (а, следовательно, и менее рискован), чем прогноз большего объема.

Основные моменты анализа рисков в поисково-разведочной геологии можно найти в [294, 164 р., 286, р. 525-535, 151, 403 р.143, 430 р.,31, с.3-6, 72, с.7-11, 73, с.19-23]. Для уточнения, отметим, что на поисково-разведочном этапе под геологическим риском будем понимать вероятность отсутствия скопления при проведении геолого-разведочного мероприятия. Некоторые компании риском называют вероятность успеха, но это вводит большую путаницу в терминологию. Кроме того, дадим также определение коммерческо-геологического риска, как вероятность того, что не будет обнаружено экономически рентабельное скопление УВ. Так-например, многие поисковые скважины, пробуренные в Каспийском море в начале 2000-х годов, открыли относительно небольшие залежи, но оцененные объемы не были достаточными для того времени, чтобы начать разработку этого месторождения. Факт отнесения открытия к некоммерческим, еще не означает, что к этому проекту уже никогда не вернуться. В качестве примера можно привести скважину Балеа в бассейне Кванза в Анголе [198, р. 178], где компания Mobil пробурила в 1997 году скважину. Глубина моря в районе этой скважины составляла порядка 2-х км. Несмотря на положительный результат промыслово-геологических исследований, компания не стала тестировать скважину, посчитав, что при цене нефти ниже \$15 за баррель (которое держалось в те годы), данное скопление не может быть коммерчески рентабельным. Когда цены на нефть поднялись до уровня выше 100 долларов, Ангольское правительство вновь объявило тендер на этот и прилегающие блоки.

Повторные поисковые работы дали положительный результат.

Другим примером может служить месторождение Гарабах [321, p. 134-140], открытое консорциумом CIPCO (LUKAgip, Penzoiil, Lukoil, AGIP, SOCAR). В 1999 году компания объявила, что несмотря на открытие месторождения с запасами 30 млн.т. она прекращает свою деятельность в связи с экономической нерентабельностью. Напомним, что цена нефти в тот год была ниже \$15 за баррель. В настоящее время, оценочная скважина на этой площади дала положительный результат и, вероятно, в скором времени начнется разработка месторождения с участием иностранного партнера.

Таким образом, коммерческо-геологический риск всегда выше, чем чисто геологический риск. Для определения коммерческо-геологического риска необходимо знать минимальные запасы, выше которых скопление может считаться коммерчески рентабельным (MEFS – minimal economic field size). Это значение будет зависеть, как от геологических параметров, так и технологических (план разработки) и коммерческих (капитальные и оперативные расходы и долгосрочный прогноз цены на добываемый продукт).

Для оценок рисков в поисково-разведочных мероприятиях необходимо учесть и оценить по отдельности следующие риски следующих факторов [82, с.36-41]:

- Отсутствия материнских пород, достаточных для генерации необходимых объемов УВ
- Отсутствие условий для заполнения ловушки УВ (путей миграции)
- Отсутствие коллекторов
- Плохие коллекторские свойства
- Отсутствие эффективной покрышки
- Отсутствие ловушки
- Фазовый состав УВ (в случае, если поиски ведутся конкретно на нефть или газ)

Оценка риска для каждого из этих факторов требует тщательных и кропотливых исследований [250, 658 p.], состоящих из сбора всей имеющейся

информации в региональном и зональном масштабе, их анализа, и построения геологических, бассейновых моделей и карт. Оценке риска для конкретной площади должны предшествовать региональные исследования, результатом которой являются карты рисков для исследуемого региона. Только после этих работ, можно приступать к анализу перспективности и рисков на конкретной площади. Но прежде, чем перейти к описанию рисков каждого отдельного фактора, остановимся на общем процессе оценки перспективности и рисков.

2.2. Математические и вероятностно-статистические основы оценки геологических рисков

Как было указано в предыдущей подглаве неопределенность геологических параметров будем описывать вероятностным распределением [208, p. 115-123, 252, p.135-230]

$$P(Y > y) = \int_y^{\infty} p(x)dx , \quad (2.2.1)$$

что, по существу является вероятностью того, что значение геологического параметра Y окажется выше, чем y . В равной степени можно определить распределение, как вероятность того, что параметр Y не превысит заданное значение y , как

$$P(Y < y) = \int_0^y p(x)dx \equiv \int_0^{\infty} p(x)dx - \int_y^{\infty} p(x)dx \equiv 1 - P(Y > y) , \quad (2.2.2)$$

где $p(x)$ является плотностью распределения. Вероятность, определенную формулой (2.2.1) иногда также называют «хвостом» распределения.

В анализе рисков часто используют квантили, которые обозначают, как

$$P(Y > P_m) = m$$

Так-например, P_{10} – это величина, которую параметр Y превзойдет с вероятностью 10%, P_{90} – то же, но с вероятностью 90%, а P_{50} , также называемая медианой – это величина, вероятность выше и ниже которой данного параметра одинакова – 50%.

$$P(Y < P50) = P(Y > P50) = 0.5$$

На практике вероятностные распределения также характеризуют моментами. Так, среднее значение, или математическое ожидание можно выразить, как

$$E_1(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx \quad (2.2.3a)$$

а момент второго порядка, как

$$E_2(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2p(x)dx \quad (2.2.3b)$$

Дисперсией величины будем называть величину

$$\sigma^2 = E_2(Y) - E_1(Y)^2 \geq 0 \quad (2.2.3c)$$

а квадратный корень дисперсии σ будем называть среднеквадратическим отклонением.

Рассмотрим некоторые распределения, которые будут использованы в работе [121, Т1. 527 с., Т2 751 с., 84, 640 с, 103, 335 с., 208, 768 p.].

Биномиальное распределение. Допустим, что вероятность какого-либо того, что произойдет некоторое событие равно p . И соответственно, вероятность, что это событие не произойдет равно $q = 1 - p$. Тогда вероятность того, что при n испытаниях данное событие произойдет ровно k раз описывается биномиальным распределением [121, Т1. с. 134].

$$p_n(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k(q)^{n-k} \quad (2.2.4)$$

Математическое ожидание данного распределения можно представить, как

$$E_1(k) = np \quad (2.2.5a)$$

а дисперсию в виде

$$\sigma^2 = npq(1-q) \quad (2.2.5b)$$

Данное распределение можно использовать в анализе экономических рисков, например, для вычисления вероятности того, что из n пробуренных поисковых скважин k окажутся успешными, или для вероятности того, что в году произойдет ровно k природных катаклизмов (извержений вулканов,

землетрясений, и т.д.).

Распределение Пуассона. Описывает редкие события, вероятность которых p мала, а число испытаний n , наоборот, велико, причем так, чтобы pn было не мало и не велико, тогда формулу (2.1.4) можно представить в виде [121, Т1. с.158]

$$P_k = \exp(-\lambda)\lambda^k/k! \quad (2.2.6)$$

где $\lambda = np$ – математическое ожидание и дисперсия распределения.

Соответственно, вероятность того, что в течении времени t лет произойдет ровно k событий можно описать Пуассоновским процессом

$$P_k = \exp(-\lambda t)(\lambda t)^k/k! \quad (2.2.7)$$

Пуассоновский процесс является широко используется для оценок рисков, связанных с природными катаклизмами, что будет показано в последующих главах.

Экспоненциальное распределение.

Допустим, что какое-то явление описывается Пуассоновским процессом. Тогда распределение величины, описывающее время ожидания ближайшего во времени события, будет подчиняться экспоненциальному распределению [121, Т1. с., 165]

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x) \quad , \quad x \geq 0 \quad (2.2.8)$$

где математическое ожидание данной случайной величины будет равно $1/\lambda$, а дисперсия $1/\lambda^2$.

Нормальное распределение.

Наиболее часто используемое распределение, описывает распределение суммы большого числа случайных величин [84, с. 456-560]. При среднем значении $\langle x \rangle$ и среднеквадратичном отклонении σ , ее плотность распределения

может быть описана, как

$$p(x)dx = (2\pi\sigma^2)^{-1/2} \exp [- (x-\langle x \rangle)^2 / 2\sigma^2] dx \quad (2.2.9)$$

а функция распределения, как

$$P(x/\langle x \rangle, \sigma) = [1 + \operatorname{erf}((x-\langle x \rangle)/2^{1/2}\sigma)] \quad (2.2.10)$$

где

$$\operatorname{erf}(z) = \pi^{-1/2} \int_0^z \exp(-x^2) dx \quad (1.2.11)$$

Здесь необходимо отметить, что $P50 = \langle x \rangle$, а $P16$ и $P84$ – приблизительно равны соответственно $\langle x \rangle - \sigma$ и $\langle x \rangle + \sigma$.

Логнормальное распределение.

Если нормальное распределение близко описывает сумму независимых случайных величин, то логнормальное распределение является характеристикой произведения независимых случайных величин. Логнормальное распределение ассиметричное, и описывает величины только с положительными значениями. Ее функцию распределения с параметрами $x^{1/2} = P50$ и μ можно представить в виде [84, с.451-556]

$$P(x/x^{1/2}, \mu) = - [1 + \operatorname{erf}(\ln(x/x^{1/2}) / 2^{1/2}\mu)] \quad (2.2.12)$$

Математическое ожидание данного распределения можно представить в виде

$$E_1(x) = x^{1/2} \exp(\mu^2/2) \quad (2.2.13a)$$

моду, как

$$x_m = x^{1/2} \exp(-\mu) \quad (2.2.13b)$$

а дисперсию в виде

$$\sigma^2 = E_1(x)^2 [\exp(\mu^2) - 1] \quad (2.2.13c)$$

Из (2.1.13c) следует, что

$$\mu = [\ln\{1 + \sigma^2/E_1(x)^2\}]^{1/2} \quad (1.2.13d)$$

Отметим также, что при $x = x_\sigma = x_{1/2} \exp(\mu)$ или

$$x_\sigma = x_{1/2} \exp[(\ln(1 + \sigma^2/E_1(x)^2))^{1/2}]$$

$$P(x_\sigma/x_{1/2}, \mu) = 0.84 \quad (2.2.13e)$$

а при $x=x_m$ определенной (2.2.13b)

$$P(x_{\sigma}/x_{1/2}, \mu) = 0.16 \quad (2.2.13f)$$

Как отмечалось, $x_{1/2}$ соответствует медианному значению $P=1/2$, в то время, как в точке математического ожидания $x = E_1(x)$, $P \sim 0.68$.

Треугольное распределение.

Определяется тремя значениями [84, с. 35-67]: минимальной x_{min} , модой x_p и максимальной x_{max} .

Ее математическое ожидание равно

$$E_1(x) \cong \frac{1}{3} (x_{min} + x_p + x_{max}) \quad (2.2.14a)$$

А дисперсия формулой

$$\sigma^2 \cong \frac{1}{2} E_1(x)^2 - \frac{1}{6} [x_{min} x_{max} + x_p (x_{min} + x_{max})] \quad (2.2.14b)$$

Сумма случайных величин. Свертки.

Допустим, что n случайных величин описывают геологические запасы нефти или газа в n залежах одного месторождения. Тогда запасы всего месторождения можно представить суммой случайных величин, описывающих запасы в отдельных залежах. Допустим, что случайные величины X и Y имеют плотности распределений соответственно $f(x)$ и $g(x)$. Тогда плотность суммы $X + Y$ можно представить в виде свертки [121, Т2, с.345-400]

$$\int f(s - y)g(y)dy = \int f(y)g(s - y)dy \quad (2.2.15)$$

При этом, математическое ожидание суммы будет равно сумме математических ожиданий слагаемых, а дисперсия суммы будет равна сумме дисперсий слагаемых, если последние независимы.

$$E_1(A \pm B) = E_1(A) \pm E_1(B) \quad (2.2.16a)$$

$$\sigma (A \pm B)^2 = \sigma (A)^2 \pm \sigma (B)^2 \quad (2.2.16b)$$

Произведение случайных величин. Смеси.

При оценке геологических рисков большое значение имеет оценка произведений случайных величин. Действительно, если рассматривать такой геологический фактор, как объем пустотного пространства в ловушке, то он

является произведением независимых случайных величин, описывающих площадь нефтеносности, общую толщину, коэффициент песчаности, пористость, коэффициент УВ-насыщенности. Здесь нужно отметить, что распределение произведения случайных величин стремится к логнормальному распределению при бесконечном увеличении числа сомножителей. Именно поэтому, логнормальное распределение имеет такое большое значение при оценке геологических параметров. Если случайные величины X, Y, Z, \dots - независимы и их распределение близко к логнормальному, то для любых целых a, b, c, \dots верны следующие выражения

$$E_1(X^a Y^b Z^c \dots) = E_1(X^a) E_1(Y^b) E_1(Z^c) \dots \quad (2.217a)$$

$$E_2(X^a Y^b Z^c \dots) = E_2(X^a) E_2(Y^b) E_2(Z^c) \dots \quad (2.2.17b)$$

с масштабным параметром

$$\mu^2 = \ln [E_2(X^a Y^b Z^c \dots) / E_1(X^a Y^b Z^c \dots)^2] \quad (2.2.17c)$$

Распределение произведений случайных величин можно выразить с помощью смесей распределений. Под смесью распределения понимают плотность [121, Т2, с.111-235]

$$w(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, \theta) u(\theta) d\theta \quad (2.2.18a)$$

где $u(\theta)$ - плотность распределения параметра θ в распределении $f(x, \theta)$. Поскольку работа сугубо прикладная для упрощения изложения, будем предполагать, что все рассматриваемые случайные величины имеют плотности распределений. Для дискретных распределений данную плотность можно представить в виде

$$w(x) = \sum_k f(x, \theta_k) p_k \quad (2.2.18b)$$

где $\sum_k p_k = 1$

Метод смесей является краеугольным камнем в теории оценки геологических рисков, что будет продемонстрировано в последующих главах. Автором были проведены теоретические исследования в области теории смесей [35, с. 261-263, 36, с.138-143]. В этих теоретических работах был выделен

подкласс L_1 безгранично-делимых распределений [121, Т2, с.230-235]. Любая случайная величина ξ , принадлежащая этому классу может быть представлена, как сумма

$$\xi = \sum p_k \xi_k + \zeta \quad (2.2.19)$$

где ξ_k независимые случайные величины, принадлежащие классу L_1 с тем же распределением, что и ξ , $\sum_k p_k = 1$, а ζ – безгранично-делимая случайная величина. Уравнение (2.2.19) имеет очень важное следствие, которое можно записать в виде

$$\eta = \eta_1^{\theta_1} \eta_2^{\theta_2} \dots \eta_n^{\theta_n} \exp(\zeta) \quad (2.2.20)$$

где θ_i положительные числа, а их сумма равна 1.

Использование данной формулы дало автору возможность оценить распределения различных функций от случайных величин [35, с. 261-263]. Метод смесей также применялся при оценке рисков в поисково-разведочных работах в масштабах бассейнов [172, р.11-19], который будет описан в следующей главе.

Оценка распределений сложных функций от случайных величин.

Метод смесей является хорошим способом для оценки распределений от функций от случайных величин. Но порой, сами функции не выражаются аналитически. Речь идет о итеративных процедурах, которые используются в динамическом моделировании процессов, в частности, в бассейновом моделировании. Для решения этой задачи предлагается новый метод, который авторы [44, с.1-9, 156, р.10-11, 157, р. 3-5, 158, р.16-17, 167, р.573-578, 176, р.35-68, 150, р. 356-455] применили для решения задач оценки неопределенностей и рисков результатов бассейнового моделирования.

Основные допущения заключаются в том, что все входные параметры являются независимыми и подчиняющимися треугольному распределению. А выходные параметры имеют логнормальное распределение, параметры которых можно подсчитать следующим образом

$$E_1(R) = (1/2) \exp(\mu^2/2) [R(p_{max} \exp(-\mu)) + R(p_{min} \exp(+\mu))] \quad (2.2.21)$$

где R – вектор выходных параметров, а p – вектор независимых входных

параметров, с треугольным распределением p_{min} , p_{likely} , p_{max} ,

а μ вычисляется по итеративной формуле

$$\mu^2 = \ln \left\{ 1 + (1/2) \sum_i \alpha_i [R(p_{max}) - R(p_{min})]^2 \right\} R(p_{max}) (1 + 0.5 \exp(\mu^2/2 - \mu)) + R(p_{min}) (1 + 0.5 \exp(\mu^2/2 + \mu)) \quad (2.2.22)$$

где $\alpha_i = \sin^4 \theta_i + \cos^2 \theta_i$, а $\sin^2 \theta_i = (p_{likely,i} - p_{min,i}) / (p_{max,i} - p_{min,i})$

Действительно, обозначим через p вектор входных параметров, которые рассматриваются, как взаимно независимые случайные числа. Допустим, что каждый элемент, составляющий этот вектор, имеет треугольное распределение, определенное тремя значениями параметра: минимально возможным, наиболее вероятным и максимально возможным (соответственно, p_{min} , p_{likely} , p_{max}). Обычно на практике каждый геологический параметр можно задать таким образом. Тогда среднее значение (математическое ожидание) и дисперсию этих параметров можно определить по правилу Симпсона [103, с.123-145]

$$E_1(p) \cong \frac{1}{3} (p_{min} + p_{likely} + p_{max}) \quad (2.2.23a)$$

$$\sigma^2 \cong \frac{1}{2} E_1(p)^2 - \frac{1}{6} [p_{min} p_{max} + p_{likely} (p_{min} + p_{max})] \quad (2.2.23b)$$

Обозначим через R выходные значения модели. Несмотря на то, что R – это вектор, не ограничивая общности можем рассматривать его, как отдельно взятый параметр, то есть каждый параметр будем рассматривать в отдельности. Значения R вычисляются в каждой точке пространства и для каждого момента времени. В целом R – есть функция от пространственно-временной переменной (x, t) и от случайного вектора p : $R = R(p, x, t)$.

Представим каждое значение входных параметров в виде

$$p = E_1(p) + \delta p \quad (2.2.24)$$

Где δp – случайное отклонение (флуктуации) от среднего значения $E_1(p)$ при $E_1(\delta p) = 0$. Тогда, разлагая $R(p)$ в ряд Тейлора, имеем

$$R(p) \cong R E_1(p) + \delta p \cong R(E_1(p)) + \sum_i \delta p_i \left(\frac{\partial R(p)}{\partial p_i} \right) + \frac{1}{2} \sum_i \delta p_i \delta p_j (\partial^2 R(p) /$$

$$\partial p_i \partial p_j) + \dots \quad (2.2.25)$$

где $()^*$ - значение функции, соответствующее среднему значению аргумента, то есть при $p = E_1(p)$ и суммирование идет по всем входным параметрам. Отсюда следует

$$E_1(R(p)) = R(E_1(p)) + \frac{1}{2} \sum_i \left(\frac{\partial^2 R}{\partial p_{j_2}^2} \right) E_1(\delta p_{j_2}) + \dots \quad (2.2.26)$$

и далее момент второго порядка можно выразить, как

$$E_2(R(p)) = E_1(R(p)^2) \cong E_1(R(E_1(p)))^2 + \sum_i E_1(\delta p_i^2) \left(\frac{\partial R(p)}{\partial p_i^2} \right) + \dots \quad (2.2.27)$$

Допустим теперь, что все выходные параметры имеют логнормальное распределение, что близко к действительности. Вместе с тем, параметры, которые по своей природе не могут быть описаны логнормальным распределением, можно с помощью различных преобразований привести к логнормальному. Так-например, пористость не может выходить за рамки отрезка $[0, 1]$. Однако значение пористость/(1-пористость) будет положительным и меняться от нуля до бесконечности.

Приведем некоторые условия и свойства логнормальных распределений, которые мы здесь будем использовать.

Обозначим через μ – квадратичное отклонение, и через x_a – значение параметра, соответствующее значению a функции распределения (квантиль распределения). Тогда при заданном μ и медиане $x_{1/2}$ функция распределения будет иметь вид

$$P(x | < x >, \mu) = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}((x - < x >)/2^{1/2} \mu)] \quad (2.2.28)$$

где

$$\operatorname{erf}(z) = \pi^{-1/2} \int_0^z \exp(-x^2) dx$$

с математическим ожиданием

$$E_1(x) = x_{1/2} \exp(\mu^2/2) \quad (2.2.29a)$$

модой

$$x_m = x_{1/2} \exp(-\mu) \quad (2.2.29b)$$

и дисперсией $E_2(x) - E_1(x)^2 \equiv \sigma^2$, равной

$$\sigma^2 = E_1(x)^2 [\exp(\mu^2) - 1] \quad (2.2.29c)$$

Из (2.2.29 c) следует, что

$$\mu = [\ln\{1 + \sigma^2/E_1(x)^2\}]^{1/2} \quad (2.2.30)$$

Отметим также, что при $x = x_\sigma = x_{1/2} \exp(\mu)$ или

$$x_\sigma = x_{1/2} \exp[(\ln(1 + \sigma^2/E_1(x)^2))^{1/2}]$$

$$P(x_\sigma/x_{1/2}, \mu) = 0.84 \quad (2.2.31a)$$

а при $x = x_{mi}$ определенной (2.2.29 b)

$$P(x_\sigma/x_{1/2}, \mu) = 0.16 \quad (2.2.31b)$$

Как отмечалось, $x_{1/2}$ соответствует медианному значению $P=1/2$, в то время, как в точке математического ожидания $x = E_1(x)$, $P \sim 0.68$.

Вернемся теперь к численным процедурам. На основании (2.2.30) с учетом (2.2.26) и (2.2.27) имеем:

$$\mu^2 \cong \ln[E_2\left(\frac{R(p)}{E_1(R(p))^2}\right)] = \ln\{1 + \sum_i \left(\frac{\partial R}{\partial p_j}\right)^2 E_1(\delta p_j^2) + \dots\} \quad (2.2.32)$$

В линейном приближении можно принять

$$\left(\frac{\partial R(p)}{\partial p_i}\right)_* = [R(p_{max}) - R(p_{min})]/(p_{max,i} - p_{min,i}) \quad (2.2.33)$$

в то время, как

$$E_1(\delta p_j^2) = (E_2(p_i) - E_1(p_j)^2) \quad (2.2.34)$$

Обозначив

$$\sin^2 \theta_i = (p_{likely,i} - p_{min,i}) / (p_{max,i} - p_{min,i}) \quad (2.2.35)$$

из (B-1a) и (B-1b) в применении к δp следует

$$E_1(\delta p_j^2) = \left(\frac{1}{18}\right) (p_{max,i} - p_{min,i})^2 (\sin^4 \theta_i + \cos^2 \theta_i) \quad (2.2.36)$$

Подставляя (B-11) и (B-14) в (B-10), получим

$$\mu^2 = \ln\{1 + (1/2) \sum_i (\sin^4 \theta_i + \cos^2 \theta_i) [R(p_{max}) - R(p_{min})]^2 x [R(E_1(p)) + R(p_{max}) + R(p_{min})]^2\} \quad (2.2.37)$$

где

$$E_1(p) \cong \frac{1}{3}(p_{min} + p_{likely} + p_{max}) \quad (2.2.38)$$

Таким образом, используя (2.2.37) и (2.2.38) можно оценить среднее значение и дисперсию, которые полностью определяют распределение случайной величины, описывающий каждый выходной параметр в каждой пространственно-временной точке на основе трех реализаций модели, соответственно по всем минимальным, максимальным и наиболее вероятным значениям.

Вместе с тем, процедуру можно еще больше усовершенствовать. Допустим в самом первом приближении, что $R(p_{max})$ и $R(p_{min})$ – представляют собой значения моделируемой величины, соответствующие 84%-м и 16%-м значениям функции распределения. Тогда можно показать, что

$$R(E_1(p)) \approx E_1(R) = (1/2) \exp(\mu^2/2) [R(p_{max}) \exp(-\mu) + R(p_{min}) \exp(+\mu)] \quad (2.2.39)$$

Подставляя (2.2.39) в (2.2.27), можно получить итерационную формулу для вычисления μ^2 :

$$\mu^2 = \ln \{ 1 + (1/2) \sum_i \alpha_i [R(p_{max}) - R(p_{min})]^{2l} R(p_{max}) (1 + 0.5 \exp(\mu^2/2 - \mu)) + R(p_{min}) (1 + 0.5 \exp(\mu^2/2 + \mu)) \}^{-2} \quad (2.2.40)$$

где $\alpha_i = \sin^4 \theta_i + \cos^2 \theta_i$

Таким путем можно найти оценки распределения множества выходных параметров в каждой пространственной точке, используя результаты только двукратной реализации модели, что существенно экономит компьютерное время.

Численная процедура решения предлагается следующей:

1. Создаются три входных параметра, содержащих, соответственно все минимальные, наиболее вероятные и максимальные. Эти три файла необходимы для вычисления соответствующих значений α_i
2. Программа бассейнового моделирования прогоняется дважды (один раз с файлом минимально возможных параметров, и второй раз с файлом максимальных значений) и создаются два файла выходных параметров $R(p_{max})$ и $R(p_{min})$

3. Если в некоторой точке (x,t) $R(p_{max}) = R(p_{min})$, тогда $\mu^2=0$, в противном случае в качестве первого приближения μ^2 оценивается равным $[\ln R(p_{max})/R(p_{min})]/2$. Затем это первое приближение используется в итеративной формуле (2.2.40) до тех пор, пока не достигается необходимая степень сходимости.

С помощью (2.2.39) оценивается среднее значение $E_1(R(p))$, приблизительно соответствующее вероятности $P=0.68$, а используя (2.2.29), (2.2.30) и (2.2.31) можно вычислить значения параметров (квантили), соответствующие кумулятивной функции распределения $P=0.16; 0.5; 0.84$. Далее легко найти значения кумулятивных вероятностей для любых значений параметров и наоборот. Дело в том, что если распределение некоторого параметра в точности подчиняется логнормальному закону, то все точки $(\log(x_p), P)$ в интервале значений от 0.1 до 0.9 должны лежать на одной прямой. На практике, действительное распределение в какой-то степени будет отличаться от логнормального. Поэтому для ее аппроксимации строим регрессионную прямую по четырем точкам: $(\log(x_{0.16}), 0.16)$, $(\log(x_{0.5}), 0.5)$, $(\log(x_{0.68}), 0.68)$, $(\log(x_{0.86}), 0.86)$. Таким образом строится функциональная зависимость между значениями параметра в каждой пространственно-временной точке и значениями функции распределения этого параметра.

2.3. Процесс оценки ресурсов и рисков на поисково-разведочной стадии освоения ресурсов

Поисково-разведочные работы – многоуровневый процесс. Для успешного принятия решения в условиях высокой степени неопределенности необходимо глубокое понимание геологических процессов, а такое возможно только при знании региональной картины. Таким образом, изучение и оценка перспективности происходит от масштаба бассейна до отдельной структуры, как это показано на схеме на рис. 2.3.1.

Уровни поисково-разведочных объектов



Рис. 2.3.1. Схема различных уровней поисково-разведочных работ в Азербайджане

В идеальном случае, поиски должны начинаться с **мега-регионального изучения** территории, то есть с комплекса бассейнов, которые были сформированы в результате единого тектонического процесса. Примерами подобных мега-регионов могут служить Южная или Центральная Атлантика, Юго-Восточная Азия, регион Тетиса и т.д. На этой стадии определяются основные этапы тектонического развития - общие факторы, влияющие на формирование УВ систем. Вследствие этого бассейны в регионе могут быть ранжированы по степени перспективности. Данная работа требует больших затрат, большого объема информации и высококвалифицированных специалистов, и далеко не каждая компания может себе позволить такие исследования.

Не все компании начинают и с работ в масштабе бассейна. Такое пренебрежение региональными работами дорого обошлось многим компаниям. Так, например, компания BHP Billiton Petroleum в 2007-м году развернула широкую поисковую программу [186, p.18-19], но стратегия руководства

заключалась в том, чтобы изучать предложения по всему миру, и при благоприятном прогнозе, входить в долевое участие, а по возможности, принять на себя и операторство. При этом, поисково-разведочная группа просто не успевала проводить требующийся региональный анализ. Результатом такой стратегии явилась череда безуспешных поисковых скважин. В результате компания была вынуждена изменить стратегию и структуру поисково-разведочных подразделений.

Метод анализа бассейнов предусматривает построение региональных профилей, хроностратиграфических схем, выделяются мега-комплексы и в каждом из них определяются комплексы осадконакопления (или плейи).

Под анализом бассейнов понимают также оценку неразведанного потенциала. В масштабах бассейна прогнозируются перспективы доказанных или потенциальных УВ систем.

Следующий уровень оценки рисков – **анализ комплексов осадконакопления, или плей анализ**. Напомним, что под плейем, или комплекс осадконакопления понимают часть геологического пространства, включающий в себя как открытые месторождения, так и не испытанные участки, которые имеют общую систему пород - резервуаров (коллекторов), общую региональную покрывку, и подпитываются общей УВ системой [144, р.341-433]. На этом уровне исследований строятся карты условий осадконакопления или карты GDE (gross depositional environment) - карты условий осадконакопления. На основе этих карт, а также имеющихся геолого-геофизических данных составляются карты рисков для каждого отдельного резервуара, покрывающей его покрывки, и подпитывающей УВ системы. В итоге все эти карты обобщаются в единую карту рисков для данного комплекса, где выделяются зоны низких, средних и высоких рисков. Как правило, после этого компании исключают с дальнейшей разработки площади с высокими рисками и концентрируются в областях низкого и умеренного риска. На этой основе в работе [64, с.3-11] выделены перспективные направления поисков УВ в Азербайджане, о чем будет подробно описано в соответствующих главах.

Все потенциальные площади, в которых возможны скопления УВ составляют банк потенциальных площадей, или **лидов (leads)**. Лиды – это малоизученные площади с невыясненной перспективностью, но находящиеся в благоприятных региональных условиях, для скоплений УВ. Лиды могут даже представлять площади с невыясненной ловушкой. Каждая из таких потенциальных структур анализируется отдельно. Изучение лидов включают в себя дополнительные работы, такие как проведение полевых (или морских) геофизических работ, интерпретация сейсмического материала [105, с. 46-48].

Лиды с оцененными высокими рисками отсеиваются, а более перспективные переводятся в категорию перспективных структур, или **проспектов (prospects)**. Работа по оценке перспективности и рисков проспектов более кропотлива и детальна. На этом уровне, как правило, проводят 3D сейсморазведочные работы, проводят петрофизический анализ, бассейновое моделирование и т.д. Здесь дают прогнозы коллекторским свойствам, объему ловушки, термобарическим условиям, объемам УВ, которые составляют ловушки, прочности покрышки, и, как результат, оценивают возможные запасы и геологический риск. В случае положительных прогнозов структуру готовят к бурению поисковой скважины: проводят детальный прогноз поровых и пластовых давлений, давления нарушения сплошности пластов, изучают инженерно-геологические риски и выбирают место для бурения.

Таким образом, поисково-разведочные работы – это многостадийный процесс. Автором была разработана и предложена схема стадийности поисково-разведочных работ, которая принята в SOCARe, как основополагающая инструкция при проведении поисково-разведочных работ. Каждой стадии работ предписаны исследования и документы, которые обязательны при сдаче проекта.

Поисковые работы (рис. 2.3.2) начинаются со стадии «Оценки», которые включают в себя региональные исследования, описанные выше. Следующая стадия «Отбора», где исключаются зоны высоких рисков и выбираются потенциальные участки. Далее следует стадия «Определение», в которой устанавливаются потенциальные ресурсы и оцениваются риски. Данная стадия

предусматривает дополнительные геологические и геофизические работы, такие как, проведение 3-х мерных сейсморазведочных работ, 3-х мерное бассейновое моделирование и т.д. В конце этого этапа принимается решение о бурении поисковой скважины. На стадии «Исполнение», структура готовится к разработке и, собственно, бурится скважина. Результаты бурения, анализ каротажных данных, испытания скважины позволяют дать оценку площади, возможным размерам открытия и потенциальным запасам.



Рис. 2.3.2. Цели и задачи, решаемые на различных стадиях поисковых работ

Этот этап является одновременно, стадией «Действие» на поисковом этапе, и стадией «Оценка» на разведочном, или оценочном этапе поисково-разведочных работ (рис. 2.3.3).

Стадии разведочного процесса



Рис. 2.3.3. Цели и задачи, решаемые на различных стадиях разведочных (оценочных) работ

Если поисковое бурение успешно завершено, то принимается решение о начале разведочного этапа работ. Здесь принята та же стадийность, но объектами исследований уже является не структура, в целом, а отдельные объекты – горизонты. На стадиях «Отбор» и «Определение» проводятся исследования, которые позволяют принять решение о бурении оценочных скважин или оставить структуру на консервации. Стадия «Исполнение» заключается в бурении разведочных скважин, по результатам которых оцениваются запасы новооткрытого месторождения, и дается заключение о передаче месторождения в эксплуатацию.

Как видно из вышеизложенного, важной задачей каждого этапа поисково-разведочных работ является объективная оценка рисков. Дополнительная информация позволяет лишь минимизировать неопределенность и, тем самым,

увеличить степень объективности. Факторы риска и методы оценки риска различны на разных этапах. В последующих главах будут освещены подходы и методы оценки рисков на каждом этапе от бассейнового анализа до подготовки к бурению, а также объективная оценка рисков, связанных с природными катаклизмами при проведении операционных работ.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработана единая теоретическая основа для оценки геологических рисков на основе вероятностно-статистических методов, в частности, с применением теории смесей вероятностных распределений.
2. Систематизированы и обобщены условия формирования УВ систем в различных типах бассейнов и составлены методологические основы оценки в них геологических рисков.
3. Созданы алгоритмы оценок геологических рисков в различных масштабах: бассейнов, комплексов осадконакоплений, отдельных площадей
4. На основе теории смесей вероятностных распределений разработана методика оценки поисково-разведочных рисков в масштабах бассейна с применением к территории Азербайджана.
5. На основе численных алгоритмов разработана методика оценки рисков, связанных с использованием результатов бассейнового моделирования с минимальным числом реализаций.
6. На основе восстановления обстановок осадконакопления построены карты рисков для различных компонентов УВ систем для Южно-Каспийского бассейна.
7. Разработана методика оценки рисков при проведении поисково-разведочных работ на отдельных площадях с использованием единого симуляционного процесса (Монте-Карло)
8. На основе вероятностно-статистических и динамических моделей дана количественная оценка рисков, связанных с геологической опасностью в Южном Каспии, в частности, разработаны методики оценки времени ожидания ближайшего катаклизма, прогноза опасных участков при строительстве сооружений, инфраструктуры, бурении скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abbasov Ə.B. Azərbaycanın təbaşir radiolariyaları (biostratigrafiya, təkamül və paleoekologiya) / Geologiya-mineralogiya üzrə elmlər doktoru dis / - Bakı: -1993. - 281 s.
2. Abbasov N.A. Risk menecment və risklərin qiymətləndirilməsində mütərəqqi üsulların tətbiqi / N.A.Abbasov, Ə.S.Abdullayev //Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2020. № 3, - s. 52-57.
3. Aslanov B.S. Cənubi Xəzər çökəkliyinin qərb sahilboyu “quru-dəniz” keçid zonasında neft-qazlılığın struktur-tektonik kriteriləri (müzakirə təriqilə) / B.S.Aslanov, V.B.Cəbrayılzadə, S.M.Məmmədova // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2020. № 2, - s.10-15.
4. Bağırov E.B. Neft Daşları yatağının çıxarılabilən neft ehtiyatlarının dəqiqləşdirilməsində yeni yanaşma / E.B.Bağırov, E.M.Muradov // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2019. № 9, - s.12-18
5. Əhmədov E.H. Neft-qaz yataqlarının karbohidrogen ehtiyatların və resursların qiymətləndirilməsi / E.H.Əhmədov. - Bakı: Nafta-Press, - 2019. - 46 s.
6. Əhmədov E.H. Həssaslıq analizlərinin əhəmiyyəti haqqında // Azərbaycan geoloqu, - Bakı: - 2020. №24, - s. 107-111.
7. İbadov F.İ. Azərbaycanın quru ərazisində Mezozoy-Paleogen neft-qaz əmələgəlmə hövzələrinin formalaşması haqqında yeni məlumatlar / F.İ.İbadov, Ə.İ.Xuduzadə, B.S.Aslanov [və b.] // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı:- 2019. № 2, - s. 3-11.
8. İsmayılova S. M. Azərbaycanın qərb hissəsinin Tabaşir çöküntülərinin kollektor xassələri // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2017. № 7, - s 3-10.
9. Kərimov K.M. Cənubi Xəzər meqaşökəkliyin dərinlik quruluşu və neftlilik-qazliliği / K.M.Kərimov, H.Ö.Vəliyev. - Bakı: Elm, - 2003. - 239 s.
10. Məhərrəmov B.İ. Şimali Abşeron tektonik zonasının geoloji quruluşu və neft qazlılıq perspektivləri./ B.İ.Məhərrəmov, Q.A.Abbasov, A.Q.Abbasov // Azərbaycanca Geofizika Yenilikləri, - Bakı: - 2018. № 1, - s. 9-15.
11. Nərimanov A.A. Azərbaycanda Mezozoy neftinin axtarışına dair //Azərbaycan geoloqu, - Bakı: - 2011. № 15, - s. 12-25.

12. Nərimanov N.R. Aşağı Kür çökəkliyi və Bakı arxipelaqında qırışqəmələgəlmənin xüsusiyyətləri və neft-qaz perspektivliyinin qiymətləndirilməsi / N.R.Nərimanov, M.S.Babayev, G.C.Nəsibova //Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2020. № 5, - s 13- 20.
13. Nərimanov N.R. Cənubi Xəzər hövzəsinin Abşeron və Bakı arxipelaqlarında, Türkmənistan şelfində geodinamik rejimin qırışq əmələgəlməyə təsiri / N.R.Nərimanov, S.M.Rzayeva, G.C.Nəsibova [və b.] //Azərbaycanda Geofizika Yenilikləri, - Bakı: - 2014. №3-4, - s. 26-35.
14. Qocayev A.H. Müasir üsullar vasitəsilə Xəzəryanı-Quba neftli-qazlı rayonun çökmə süxurlarının karbohidrogen potensialının qiymətləndirilməsi // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2012. № 12, - s. 3-6.
15. Qurbanov V.Ş. Xəzəryanı-Quba neftli-qazlı rayonunun Mezokaynozoy çöküntülərinin litoloji-petroqrafik və kollektorluq xüsusiyyətləri / V.Ş.Qurbanov, L.A.Sultanov, Q.Q.Abbasova // Azərbaycanca Geofizika Yenilikləri, - Bakı: - 2014. №3-4, - s. 10-14.
16. Rzayeva S.M. Orta Kür çökəkliyinin dərinlik və struktur tektonik xüsusiyyətləri / S.M.Rzayeva, T.A.Əliyeva, V.Q.Abdullayeva //Azərbaycanda Geofizika Yenilikləri, - Bakı: - 2016. №1-2, - s. 36-41.
17. Salmanov Ə.M. Cənubi Xəzər çökəkliyində Məhsuldar Qat çöküntülərinin karbohidrogen potensialının qiymətləndirilməsi və axtarış-kəşfiyyat işlərinin səmərəli istiqamətlərinin müəyyən edilməsi / Ə.M.Salmanov, E.H.Əhmədov // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2018. № 7-8, - s 15-19.
18. Salmanov Ə.M. Struktur-tektonik təhlil əsasında Qərbi Abşeronun Oligosen-Miosen çöküntülərinin neft-qazlılıq perspektivlərinin qiymətləndirilməsi / Ə.M.Salmanov, B.İ.Məhərrəmov, R.M.Hüseynov [və b.] //Azərbaycanda Geofizika Yenilikləri, - Bakı: - 2016. №1-2, - s. 23-28.
19. Süleymanov Ə.M. Abşeron arxipelaqının şimal-qərb hissəsinin regional struktur-tektonik xüsusiyyətləri //Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2017. № 4, - s 3-11.
20. Xuduzadə Ə.İ. Xəzəryanı-Quba NQR-də Mezozoy çöküntülərinin neftlilik-qazlılıq perspektivləri və axtarış-kəşfiyyat işlərinin istiqamətləri / Ə.İ.Xuduzadə, E.H.Həsənov,

- О.Ş.İsmayılov // Azərbaycanca Geofizika Yenilikləri, - Bakı:- 2015. №3-4, - s.15-18.
21. Yusifov X. Azərbaycanca Mezozoy çöküntülərində neft-qaz axtarınının geoloji əsasları / X.Yusifov, Ə.Süleymanov // Bakı: Mars Printç, - 2015. - 308 s.
22. Алиев А.А., Гулиев И.С., Рахманов И.С. Каталог извержений грязевых вулканов Азербайджана (1810-2007) - Баку: Nafta-Press, - 2008.
23. Алиев А.А., Гулиев И.С., Рахманов И.С. Каталог извержений грязевых вулканов Азербайджана (2008-2019) – Баку: Elm, - 2019.
24. Алиев А.И. Доплиоценовая история развития Южно-Каспийской впадины / А.И.Алиев, Ю.А.Шыхалиев, Э.А.Алиев // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 2012. № 9, - с.11-16.
25. Алиева Э.Г. Стратиграфия и палеогеография меловых отложений Азербайджана по петрографическим показателям / Э.Г. Алиева, А. Дж. Иманов, К.Г.Сафарли [и др.] // SOCAR Proceedings, - Баку: - 2014. № 1, - с.11-23
26. Ализаде А.А. Продуктивная Толща / А.А.Ализаде, И.С.Гулиев, П.З.Мамедов [и др.] // Том I. МЖ ООО «Издательский дом Недра». - 2018а. - 305 с.
27. Ализаде А.А. . Продуктивная Толща / А.А.Ализаде, И.С.Гулиев, П.З.Мамедов [и др.] // Том II. МЖ ООО «Издательский дом Недра», - 2018b. - 236 с.
28. Алхаслы Ш. Б., Зейналов Г.А. Прогнозирование деформационных полос в плиоценовых песчаниках и их влияние на петрофизические свойства (на примере обнажений Абшеронского п-ова) / Ш.Б.Алхаслы, Г.А.Зейналов // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 2019. №7, - с 18- 22.
29. Асланов Б.С. Сейсмо-геодинамические преобразования Южного Каспия и Загросского надвига в пути геологической эволюции на основе 3D моделирования гравиметрической карты // SOCAR Proceedings, - Баку: - 2013, № 4, - с 11-20.
30. Астафьев Д.А. Возможности уточнения ресурсов углеводородов и направлений нефтегазопоисковых работ с учетом глубинных структур и геодинамических процессов в недрах Земли / Д.А.Астафьев, А.В.Толстикова, Л.А.Наумова // Вести газовой науки, - 2019. №2, - с. 17- 28.

31. Астахов А.А., Унжакова Е.П. Риски в геологии с точки зрения менеджмента // Бизнес образование в экономике знаний, - 2018. № 1, - с. 3-6.
32. Астахов С.М. Геореактор // Алгоритмы нефтеобразования, Ростов-на-Дону: Контики, - 2015. - 256 с.
33. Ахундов Ш.Х. Оценка перспектив нефтегазоносности меловых отложений Абшеронского архипелага по термобарическим показателям / Ш.Х.Ахундов, И.А.Джафаров, Х.Р.Рустамова // SOCAR Proceedings, - Баку:- 2014. № 4,- с. 13-16.
34. Бабаев Ш.А., Бабаев А.Ш. О стратиграфическом положении залежей морских газогиратов // Геология Нефти и газа. Баку: - 2017. №1, - с. 93-97.
35. Багиров Э.Б. Нижние оценки хвостов распределений некоторых функций от нормально распределенных случайных величин // Доклады Академии Наук СССР, - Т. 41, - 1990, №2, - с. 261-263.
36. Багиров Э.Б. Новые следствия формулы Колмогорова для бесконечно делимых распределений // Теория вероятностей и ее применения, - Т.36, -1991. №1, - с. 138-143.
37. Багиров Э.Б. Метод выделения стадий разработки нефтяных и газовых месторождений // Нефть и Газ (Труды АЗИНЕФТЕХИМ), - Баку, - 1994. №1, - с. 36-39.
38. Багиров Э.Б. Флюидоупорность покрышек и их роль в формировании залежей в Южно-Каспийском бассейне // Tematik konfrans “Karbohidrogenlərin yaranması, miqrasiyası və toplanması. Akademiklər Ə.Əlizadə və Ş Mehdiyev nəzəriyyələrinin inkişafı”, - Баку: 2016. - с. 5-12.
39. Багиров Э.Б. Поиски новых углеводородных систем в Южно-Каспийском бассейне // Azərbaycan Geoloqu, - Баку: - 2018. № 22, - с.16-23.
40. Багиров Э.Б. Мезокайнозойский осадочный комплекс Среднего Каспия и оценка геологических рисков // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 2019. №8, - с. 4-8.
41. Багиров Э. Изучение условий осадконакопления Калинской свиты западной части Апшеронского порога с целью оптимизации разработки и определения

- направлений поисково-разведочных работ / Э.Багиров, Х.Алиева, И.Джафаров [и др.] // Azərbaycan Geoloqu, - Баку: - 2020. №24, - с. 18-32.
42. Багиров Э.Б., Багирова Н.Д. Статистические методы оценки экранирующих свойств разрывных нарушений в нефтяных залежах// Ученые записки АГНА, Баку, - 1995, - №1, с. 8-29
43. Багиров Э.Б., Зейналов Г.А. Классификация грязевых вулканов Нижнекуруинской впадины // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 1994. № 6, - с. 47-52.
44. Багиров Э.Б., Лерч И. Моделирование грязевых потоков при извержениях морских грязевых вулканов //Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 1997а. № 5, - с.1-9.
45. Багиров Э.Б., Лерч И. Моделирование распространения пламени и тепла при извержениях грязевых вулканов с целью оценки опасности // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 1997б. № 11-12, - с. 23-30.
46. Багиров Э.Б., Лерч И. Вероятностный анализ результатов бассейнового моделирования // Геология нефти и газа, - Москва: - 1998. №7, - с. 27-33.
47. Багиров Э.Б., Надиров Р.С. Метод определения «силы» извержения грязевого вулкана // Нефть и газ (Труды АЗИНЕФТЕХИМ), - Баку: - 1995. №2, - с.3-8
48. Бернуллы Я. О законе больших чисел // - Москва: Наука, - 1986. - 176 с.
49. Богоявленский В.И. Нефтегазоносность кристаллического фундамента шельфа Вьетнама: Белый Тигр и Дракон / В.И.Богоявленский, А.Д.Дзюбло, А.Н.Иванов // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2016. № 5, - с. 102-116
50. Бурштейн Л.Б., Грекова Л.С. Локально-статистический метод количественного прогноза перспектив нефтегазоносности (на примере горизонта Ю1 Западной Сибири) // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2016. № 4, - с. 30-36.
51. Велиев С. С., Тагиева Е. Н. К вопросу изменения уровня Каспийского моря и его палеогеографии в эпоху продуктивной толщи в свете новых данных // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 2012. № 1, - с 17-23.
52. Вистелиус А.Б. Основы математической геологии (определение предмета, изложение аппарата). - Ленинград: Наука, - 1980. - 389 с.

53. Волянская В.В. Методологические аспекты построения структурно-тектонических моделей разного иерархического уровня // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2018. № 5, - с.14-17.
54. Гайнаншин Р.Н. Прогноз открытий залежей углеводородов в Северо-Сахалинской нефтегазоносной области на основе статистического анализа / Р.Н.Гайнаншин, Е.А.Жуковская, М.В.Сначев // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2019. №5, - с. 44-47.
55. Геология Азербайджана. Стратиграфия. Часть вторая. Мезозой и кайнозой. / Гл. ред. Ализаде, - Баку: Nafta-Press, - Том I. - 2007. - 579 с.
56. Гихман И.И. Введение в теорию случайных процессов / И.И.Гихман, А.В.Скороход. - Москва: Наука, - 1977. - 568 с.
57. Глумов И.Ф. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря / И.Ф.Глумов, Я.П.Маловицкий, А.А.Новиков [и др.] // - Москва: Недра, - 2004. - 342 с.
58. Гончаров И.В. Роль различных видов миграции в формировании залежей нефти и газа в Западной Сибири / И.В.Гончаров, В.В.Самойленко, Н.В.Обласов [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2016. № 4, - с. 12-17.
59. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм рядов и произведений / И.С.Градштейн, И.М.Рыжик. Государственное издательство физико-математической литературы, - Москва: - 1963, - 1108 с.
60. Грунис Е.Б. Особенности применения методики оценки рисков при обосновании перспектив нефтегазоносности доманиково-турнейских карбонатов (Тимано-Печорский нефтегазоносный бассейн) / Е.Б.Грунис, И.В.Колоколова, В.Б.Ростовщиков [и др.] // Геология нефти и газа, - Москва: - 2020. № 1, - с.21-33.
61. Гулиев И.С., Багиров Э.Б. Статистический прогноз объема неразведанных ресурсов углеводородов в Азербайджане // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 2016а. № 5, - с. 3-8.
62. Гулиев И.С., Багиров Э.Б. Роль флюидоупоров в формировании залежей углеводородов в Южно-Каспийском бассейне и прогноз скоплений в

- прибрежной зоне Абшерона // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - Ч. 1, - 2016б. № 6, - с. 3-12.
63. Гулиев И.С., Багиров Э.Б. Роль флюидопоров в формировании залежей углеводородов в Южно-Каспийском бассейне и прогноз скоплений в прибрежной зоне Абшерона // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - Ч. 2, - 2016с. № 7-8, - с. 3-10.
64. Гулиев И.С., Багиров Э.Б. Основные направления научных исследований по обеспечению природных запасов углеводорода в Азербайджане // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri. Yer Elmləri, - Баку: - 2016д. №3-4, - с. 3-11
65. Гулиев И.С. Оценка генерационного потенциала сланцевых низкопроницаемых толщ (майкопская серия Кавказа) / И.С. Гулиев, В.Ю. Керимов, Р.Н. Мустаев [и др.] // SOCAR Proceedings, - Баку: - 2018. №1, - с 4-20
66. Гулиев И.С. Адамантоиды в нефтях как показатели наличия нефтематеринских пород на больших глубинах (Абшеронский архипелаг, Южно-Каспийская впадина) / И.С.Гулиев, Г.С.Мартынова, О.П.Максакова [и др.] // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: -2020. № 2, - с 4-9.
67. Гулиев И.С. Степень зрелости нефтей разновозрастных резервуаров Южно-Каспийской мегавпадины / И.С.Гулиев, А.А.Фейзуллаев, Д.А.Гусейнов // Геология нефти и газа, - Москва: - 2000. №3, - с.41-50.
68. Гусейнов Б.Б. Палеотектоническое обоснование потенциала не традиционных углеводородов в отложениях майкопского комплекса Евлах-Агджабединоского прогиба / Б.Б.Гусейнов, Ф.И.Ибадов, А.М.Салманов [и др.] // Elmi Əsərlər, - Баку: -2015. №3, - с.9-18.
69. Гусейнов Б.Б. Оценка перспективности сланцевых углеводородов майкопских отложений междуречья Куры и Габырры / Б.Б.Гусейнов, А.М.Салманов, Б.И.Маггеррамов // SOCAR Proceedings, - Баку, - 2017. № 4, - с 4-15.
70. Диде Э. Методы анализа данных: подход, основанный на методе динамических сгущений // М. Финансы и статистика, - 1985. 357 с.
71. Дудуева М.Г. Налушкин Ю.И. Изменение термического режима и катагенеза

органического вещества осадочных пород западной части Южно-Каспийского бассейна // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2013. № 9, - с.16-19.

72. Ершов Г.У. Геологические риски, их оценка и оптимизация при моделировании месторождений подземных вод // Разведка и охрана недр, - Москва: - 2012. № 11, - с. 7-11.

73. Естафьев И.Л., Долинский И.Г. Оценка геологических рисков при планировании геологоразведочных работ на стадии поиска месторождения // Вести газовой науки, - Москва: - 2018. № 4, - с.19-23.

74. Зиновкин С.В. Вопросы геологических неопределенностей при проектировании разработки Южно-Лунского месторождения / С.В.Зиновкин, Г.М.Гереш, Я.И.Штейн [и др.] // Вести Газовой науки, - Москва, - 2020. № 3, - с.16-23.

75. Иксанов К.Н. Анализ чувствительности гидродинамической модели к фильтрационно-емкостным свойствам и граничным условиям для морских месторождений / К.Н.Иксанов, Г.М.Гереш, А.В.Жиров [и др.] // Вести Газовой науки, - Москва: - 2020. №3, - с. 24-31.

76. Зейналов Г.А., Алхаслы Ш.Б. Оценка петрофизических свойств деформированных пластов песчаника и их влияния на поток флюидов (на примере обнажений Абшеронского п-ова) // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 2019. № 11, - с. 4-8.

77. Иванов А.Н. Использование вероятностно-стохастических методов оценки запасов залежей углеводородов терригенных отложений месторождений СП «Вьетсовпетро» / А.Н.Иванов, А.Г.Рюмкин, М.А.Федосеев [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2018. № 8, -с.6-9.

78. Имамов Р.Р. К вопросу о классификации рисков инвестиционных проектов в нефтегазовой промышленности // Актуальные вопросы современной науки. Сборник материалов конференции - Новосибирск: Изд-во ЦРНС, - Вып. 31, - 2014, - с.52-61.

79. Калинин Д.Ф. Построение вероятностных моделей и прогнозных схем отражающих региональные перспективы нефтегазоносности доюрского

- комплекса Западной Сибири по геофизическим данным / Д.Ф.Калинин, О.И.Погарева, Ю.А.Яновская // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2018. №3, - с. 77-85.
80. Карамурзаева А.Б. Особенности геологического строения среднеюрских отложений западного блока месторождения «Каражанбас» // SOCAR Proceedings, - Баку: - 2013. № 4, - с. 25-32.
81. Касьянов И.В., **Нежданов** Роль процессов карбонитизации пород в формирование залежей углеводородов в Западной Сибири // Геология нефти и газа, - Москва: - 2020. №1, - с. 69-79.
82. Керимов В.Ю. Оценка геологических рисков при поисках и разведке месторождений углеводородов / В.Ю.Керимов, А.В.Бондарев, Р.Н.Мустаев [и др.] // Нефтяное хозяйство, - Москва, - 2017. № 8, - с. 36-41.
83. Керимов В.Ю. Задачи бассейнового моделирования на разных этапах геолого-разведочных работ / В.Ю.Керимов, Р.Н.Мустаев, Б.В.Сенин [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2015. № 4, - с.26-29
84. Королюк В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С.Королюк, Н.И. Портенко, А.В.Скороход [и др.]. – Москва: Наука, -1985, - 640 с.
85. Крамбейн У. Статистические модели в геологии / У.Крамбейн, Ф.Грейбилл, - Москва: Мир,- 1969. - 400 с.
86. Куница И.В. Тектоническое строение и история развития палеозойского комплекса Северного Каспия / И.В.Куница, А.В.Дердуга, А.М.Никишин [и др.] // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2020. №3, - с.11-18.
87. Кунцевич М.А. Алгоритм оценки структурных неопределенностей для месторождений на разведочной стадии / М.А.Кунцевич, А.С.Гончаров, С.А.Нехаев // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2019. №12, - с. 26-29.
88. Лерч И., Багиров Э.Б. Опасность гидратов в Южно-Каспийском бассейне // Известия Академии Наук Азербайджана, Серия Наук о Земле, - Баку: - 1993/1994, №№ 1-6, - с. 116-124.
89. Лыжин Е.А. Ключевые геологические риски плеча / Е.А.Лыжин,

- Е.А.Булгакова, Н.В.Нассонова [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2015. № 6, - с.18-23.
90. Мехтиев Ш.Ф. Карта нефтяных и газовых месторождений и перспективных структур Азербайджанской ССР / Ш.Ф.Мехтиев, Ф.М.Багир-заде. – Баку: АН АзССР, - 1984.
91. Магеррамов Б.И. Отличительные особенности тектонического строения и нефтегазоносность Тенги-Бешбар-макского антиклинория / Б.И.Магеррамов, Г.А.Сулейманов, А.М.Сулейманов // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку, - 2018. № 10, - с. 10-18.
92. Морошкин А.Н. Вероятностная оценка числа неоткрытых месторождений по классам их крупности / А.Н.Морошкин, Р.Р.Имамов, А.О.Бражников [и др.] // Геология Нефти и газа, - Москва: -2019. №1, - с. 27-41.
93. Никитин Ю.И. Анализ геологических формаций в Прикаспийской впадине / Ю.И.Никитин, С.В.Яцкевич, В.Я.Воробьев [и др.] // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2011. №1, - с. 22-28.
94. Нугманов Б.Х. Анализ чувствительности и оценка геологических рисков при подсчете запасов месторождения «Каламкас» / Б.Х.Нугманов, А.Ш.Эминов, Ф.В.Рагимов //SOCAR Proceedings, - Баку: - 2017. № 3, - с. 4-8.
95. Полетаев А.В. Газоносность верхней части осадочного чехла Южного Каспия // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2019. № 5, - с. 33-43.
96. Полищук А.В., Лебедев М.В. Зоны нефтегазонакопления бассейна Солимоис, суббассейна Журуа (Бразилия) по данным 3В бассейнового моделирования // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2019. №10, - с.19-23.
97. Поповинкин О.М. Особенности литофациального строения синрифтовых олигоценых отложений и перспективы нефтегазоносности северо-восточного борта бассейна Южный Коншон // Геология Нефти и газа,- Москва: - 2015. № 6, - с. 12-18.
98. Путилов И.С., Галкин В.И. Разработка методики вероятностно-статистического прогноза нефтегазоносности локализованных структур (на примере южной части Пермского края) // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2014.

№ 4, - с.26-29.

99. Рахманов Р.Р. Грязевые вулканы и их роль в прогнозировании нефти и газа. - Москва: Недра, - 1987, - 176 с.

100. Рахманов Р.Ф., Абдуллаева С.С. Геотектоническое районирование Северного Азербайджана и прилегающей территории Южного Дагестана в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности // *Azərbaycanda Geofizika Yenilikləri*, - 2014. №1-2, - с. 22-27.

101. Редькин Н.А. Концептуальный подход к оценке ресурсов нефти и газа и анализу геологических рисков при поиске высокопродуктивных объектов в Восточной Сибири / Н.А.Редькин, А.В.Гайдук, А.И.Ихсанов [и др.] // *Нефтяное Хозяйство*, - Москва: - 2018. № 11, - с. 28-31.

102. Родионов Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. - Москва: Недра, - 1968, - 158 с.

103. Родионов Д.А. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А.Родионов, Р.И.Коган, В.А.Голубева [и др.]. – Москва: Недра, - 1987. - 335 с.

104. Рыбальченко В.В. Вертикальная миграция газа и газогидраты на северо-восточном шельфе Сахалина / В.В.Рыбальченко, Г.Н.Гогоненков, В.А.Слепченко // *Геология Нефти и газа*, - Москва: - 2017. № 2, - с. 12-17.

105. Саламофф С. Новые технологии 21-го века и направления развития геофизики / С.Саламофф, Е.К.Кейси, Э.Б.Багиров // *Azərbaycanda Geofizika Yenilikləri*, - Баку: - 2018, - с.46-48.

106. А.М.Салманов, Х.М.Юсифов. Основные критерии нефтегазоносности мезозойских отложений Азербайджана // *SOCAR Proceedings*, - Баку: - 2012. № 2, - с. 6-13.

107. Сеидов В.М., Халилова Л.Н. Примеры реконструкции обстановок осадконакопления продуктивной толщи на площадях Азербайджана по данным геофизических исследований скважин // *Нефтяное Хозяйство*, - Москва: - 2019. № 5, - с. 62-66.

108. Ситников А.Н. Оценка подхода «ценности информации к сейсмическим данным для исключения рисков бурения / А.Н.Ситников, А.В.Буторин,

- Г.М.Тимошенко [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2016. № 12, - с. 40-43
109. Скворцов М.Б. Качественная и количественная оценка перспектив нефтегазоносности шельфа моря Лаптевых / М.Б. Скворцов, А.Д. Дзюбло, О.В.Грушевская [и др.] // Геология нефти и газа, - Москва: - 2020. №1, - с. 5-19.
110. Смирнов М.В. Погачичные юрско-меловые отложения акватории Среднего Каспия: строение, стратификация и перспективы нефтегазоносности (на примере Сарматско-Хвалынской зоны поднятий / М.В.Смирнов, С.Ю.Штунь, О.И.Смирнова [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2019. № 8, - с. 22-26.
111. Соловьев С.И. О подходах к оценке геологических параметров проектов освоения нефтяных участков недр, предусматривающих этап геологического изучения // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2013. № 9, - с.12-16.
112. Соловьев Б.А. Перспективы поисков залежей нефти и газа в отложениях нефтекумской свиты Восточного Предкавказья / Б.А.Соловьев, Н.Г.Подкорытов, С.П.Левшунова // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2012. № 6, - с. 4-10.
113. Тагиев М.Ф. Об особенностях генерации и вертикальной миграции углеводородов в северо-западной части Южно-Каспийской впадины / М.Ф.Тагиев, И.Н.Аскеров, Э.В.Гурбанов // Azərbaycanca Geofizika Yenilikləri, - Баку: - 2016. №1-2, - с. 28-36.
114. Тагиев М.Ф. Оценка прогнозных ресурсов углеводородов: традиционные методы и современные направления развития / М.Ф.Тагиев, А.И.Худузаде, И.Н.Аскеров // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку, - 2020. № 2, - с.15-19.
115. Толстикова А.В. Запасы и ресурсы углеводородов, перспективы изучения и промышленного освоения недр морей России в XXI веке // Геология нефти и газа, - Москва: - 2018. № 4, - с. 73-85.
116. Узяков М.Н. Комплексный подход к построению согласованных сценариев мировых производства, потребления и цены на нефть / М.Н.Узяков, А.А.Янговский, М.Ю.Ксенофонтов [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2016. № 11, - с.8-14.
117. Федоров А.Э. Анализ геологической неопределенности при стохастическом

моделировании геологических тел / А.Э.Федоров, А.А.Аmineва, И.Р.Дильмухаметов [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2019. № 9, - с. 24-28.

118. Фейзуллаев А.А. Температурные условия преобразования и степень зрелости органического вещества и углеводородов в юго-восточной части Терско-Каспийского прогиба / А.А.Фейзуллаев, Г.Г.Исмаилова, А.Н.Гусейнова // Нефтяное Хозяйство, Москва, - 2019,- № 2, с.18-23

119. Фейзуллаев А.А. Проблемы поиска и обнаружения углеводородов в миоцен-олигоценых отложениях Юго-Восточного Кавказа / А.А.Фейзуллаев, Ш.С.Кочарли, Д.А.Гусейнов [и др.] // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 2018. № 7-8, - с.7-14 .

120. Фейзуллаев А.А. Шыхалиев Ю.А. О современной стратегии поисков нефти и газа в Азербайджанском секторе Каспийского моря // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2016. № 3, -с. 38-43.

121. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. - Москва: Мир, - 1984, - Т1. 527 с., Т2. 751 с.

122. Хисамов Р.С. Вероятностно-статистическая оценка запасов и ресурсов в модуле Uncertainty Analysis в программном обеспечении Roxar RMS / Р.С.Хисамов, А.Ф.Сафаров, А.М.Калимуллин [и др.] // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2018. № 7, - с. 8-11.

123. Хитров А.М. Оценка риска поисков нефти и газа на основе выделения и картирования покрышек залежей углеводородов по данным геофизических методов / А.М.Хитров, А.Н.Никитин, М.Н.Попова [и др.] // Вестник ЦКР Роснедра, - Москва, - 2011. №3, - с. 22-27.

124. Чвертков А.Г. Использование концептуальной модели для выделения разных по качеству запасов нефти по площади на примере месторождений южного шельфа Вьетнама / А.Г.Чвертков, Т.С.Баранов, Г.Д.Федорченко // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2020. № 8, - с. 27-29.

125. Черный А.А. Емельянов В.В. Система управления рисками проектов геолого-разведочных работ, выполняемых в пределах лицензионных участков

континентального шельфа // Нефтяное Хозяйство, - Москва: - 2019. № 4, - с.16-21

126. Шаулов Г.С. Федотова С.А. Гидрогеологические аспекты формирования залежей IV горизонта Анастасиевско-Троицкого месторождения // Геология Нефти и Газа, - Москва: - 1975. № 5, - с. 57-60.

127. Шебебалин Н.В. Методы применения инженерных и сейсмологических данных для сейсмического районирования. Сейсмическое районирование СССР, - Москва: Наука, - 1968. - с. 25-33.

128. Шихалиев Ю.А., Кочарли Ш.С. О направлении поисково-разведочных работ на мезозойские отложения в Азербайджане // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2015. № 4, - с. 12-18.

129. Шниц О.А., Дзюбло А.Д. Особенности строения месторождений нефти в фундаменте Меконгской впадины (шельф Южного Вьетнама) // Геология Нефти и газа, - Москва: - 2019. № 2, - с. 93-100 (Озерные условия).

130. Юсифов Х.М., Салманов А.М. Основные критерии нефтегазоносности мезозойских отложений Азербайджана // Научные труды НИПИ НефтеГаз, - Москва: - 2012. № 2, - с. 6-14.

131. Юсубов Н.П., Гулиев И.С. Роль грязевого вулканизма в образовании нефтяных и газовых месторождений // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, - Баку: - 2018. № 9, - с. 13-24.

132. Якубов А.А. О новых извержениях грязевых вулканов в юго-восточной части Большого Кавказа / А.А.Якубов, Ф.Г.Дадашев, А.М.Зейналов. - Баку: ЭЛМ, - 1970, - с. 47-56.

133. Abdullayev N.R. Distribution of volume of rocks in sedimentary basins – unusual case of the South Caspian Basin / N.R.Abdullayev // Geophysics News in Azerbaijan, - Baku: - 2018. Vol 1, - p. 29-33.

134. Abdullayev N.R. Subsidence history and basin fill evolution in the South Caspian Basin from geophysical mapping, flexural backstripping, forward lithospheric modelling and gravity modelling. / N.R.Abdullayev, F.A.Kadirov, I.S. Guliyev // Geological Society, Special Publications, - London: 10.1144/SP427.5, - 2015, - p.35-

40.

135. Abdullayev N.R. Regional controls on lacustrine sandstone reservoirs: The Pliocene of the South Caspian Basin: in Baganz, Bartov, Nummedal eds. / N.R.Abdullayev, G.W.Riley, A.P.Bowman // Lacustrine sandstone reservoirs and hydrocarbon systems: AAPG Memoir 95, - 2012. - p. 71-98.

136. Abdullayev T. A reservoir model for the main Pliocene reservoirs of the Bahar Field in the Caspian Sea, Azerbaijan, Petroleum Geosciences. / T.Abdullayev, L.M.Falt, A.Akhundov [et al.]. -1998. - V.4, - p. 259-270.

137. Abrams M.A. Geochemical evaluation of hydrocarbons and their potential sources in the western South Caspian depression, Republic of Azerbaijan / M.A.Abrams, A.A.Narimanov // Marine and Petroleum Geology, - 1997. - Vol. 14. № 4, - p.451-468.

138. Ahern J.L. Evolution of the lithosphere beneath the Michigan Basin / J.L.Ahern, P.J.Dikeou // Earth and planetary science letters. - 1989.- Vol. 95, issue 1-2, - p.73-84

139. Ahlbrandt T.S. The Sirte Basin Province of Libya – Sirte-Zelten total petroleum system. // USGS Survey Bull, - 2001 - 2202-F, - 33 p.

140. Aliyeva X., Jafarov I., Seyidova A., Abdullayeva A., Muradov E., Bagirov E. Depositional environment and sedimentary rock types in the productive series Qala suit. Western part of Absheron sill // SPE/EAGE/ANGC International conference “The Caspian Region: peculiarities of the geology (the offshore and adjacent oil and gas areas)”, - Baku: - 2017 - p. 21-22.

141. Alizadeh A.A. Geosciences of Azerbaijan / A.A.Alizadeh, I.S.Guliyev, F.A.Kadirov [et al.] // Geology. Springer, - Volume I: - 2017a. - 237p.

142. Alizadeh A.A. Geosciences of Azerbaijan. /A.A.Alizadeh, I.S.Guliyev, F.A.Kadirov [et al.] // Economic geology and applied geophysics. Springer, - Volume II: - 2017b, - 340 p.

143. Allen M.B. Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-Quaternary subsidence in the South Caspian basin /M.B.Allen, S.Jones, A.Ismail-Zadeh [et al.] // Geology, - v. 30, - 2002. № 9, - p. 775-778.

144. Allen, P.A. Basin Analysis: Principles and Applications to petroleum play assessment / P.A.Allen, J.R.Allen. - Oxford, Wiley-Blackwell, - 2013 - 606 p.

145. Allen P.A. Cratonic basins in Tectonics of sedimentary basins. / P.A.Allen, J.J.Armitage // Fifth edition. Basby C., Azor A. eds. Blackwell publishing, - 2012. - p. 602-620.
146. Amosu A.A quantitative probabilistic framework for estimating the critical moment in a petroleum system, / A.Amosu, Y.Sun // AAPG Bulletin, - V.103, - 2019. № 1, p.177-187.
147. Aven T. Risk assessment and risk management. Review of recent advances on their foundation. //European Journal of operational research, - 2016. № 253, - p. 1-13.
148. Averill D. They came, they saw, they started something special: The birth of AAPG. // AAPG Explorer, - V.3, - 2017. - p. 26-31.
149. Baganz, O.W. Productive Series Play of the Paleo-Volga Delta, South Caspian Basin – Exploration History. / O.W.Baganz, E.Bagirov, G.E.Michael, A.W.Shultz // Sedimentation and Petroleum System // AAPG Memoir 95 “Lacustrine Sandstone Reservoirs and Hydrocarbon Systems, - 2012. - p. 57-71.
150. Bagirov E.B. Geological Space Definition as the Basis of Geological Task Formalization // Russian Geology and Geophysics, - V.33, - 1992. № 1, p. 6-9.
151. Bagirov E. Chase new petroleum systems in the Mesozoic section of the South Caspian Basin // SPE/EAGE/ANGC International conference “The Caspian Region: peculiarities of the geology (the offshore and adjacent oil and gas areas)”, - Baku: - 2017. - p. 2-4.
152. Bagirov E. A new view on the evolution of the Kura Basins and oil and gas presence there based on the currently obtained geological and geophysical data // Third International Conference on Geology of the Caspian Sea and Adjacent Areas, - Baku: - 2019. - p. 16-17.
153. Bagirov E., Baganz O.W., Ballard J.H., Buchanan J., Krenov M. Mud diapirism and its effect on the hydrocarbon system in the South Caspian //ASPG, EAGE, NCAG International Conference, - Baku: - 2002, - p.120-121.
154. Bagirov E., Baganz O.W., Krenov M. Dynamics of mud diapirs in the South Caspian Basin and its influence on the petroleum system// AAPG Annual Meeting, Salt Lake City, Utah, - 2003, - p. A8

155. Bagirov E. The South Caspian Oil Fields: Onshore and Offshore Reservoir Properties / E.Bagirov, B.Bagirov, I.Lerche [et al.] // Natural Resources Research, - Vol.8, - 1999. № 4, - p. 299-313.
156. Bagirov E., Lerche I. Probability and sensitivity analysis of a 2D basin modeling results //International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996a, - p.10-11.
157. Bagirov E., Lerche I. Risk assessment of basin analysis results for an offshore 2D seismic section in the South Caspian basin // International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996b, - p. 12.
158. Bagirov E., Lerche I. Risk assessment of basin analysis results for an offshore north-south seismic section in the South Caspian // International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996c, - p. 16-17.
159. Bagirov E., Lerche I. Quantitative modeling of mud diapirism: evolution of the Vezirov mud diapir // International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996d, - p.18-19.
160. Bagirov E., Lerche I. Influence of mud diapirs on the evolution of surrounding formations using 2d basin modeling techniques // International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996e, - p.21.
161. Bagirov E., Lerche I. Flaming eruptions and ejections from mud volcanoes in Azerbaijan: statistical risk assessment from the historical records. // International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku, - 1996f, - p.22-23.
162. Bagirov E., Lerche I. Dynamic modeling of mud flow for offshore mud volcanoes. // International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and

probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku:- 1996g,- p.24-25.

163. Bagirov E., Lerche I. Earthquakes, mud volcano eruptions, and fracture formation hazards in the South Caspian basin: statistical inferences from the historical record // International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996h, - p.26-27.

164. Bagirov E., Lerche I. Dynamic modeling of mud flows for offshore mud volcanoes //AAPG/ASPG research symposium “Oil and gas petroleum systems in rapidly subsiding basins”. – Baku: - 1996i, - p. 6-8.

165. Bagirov E., Lerche I. Hydrates Represent Gas Source Drilling Hazard // Oil & Gas Journal, Nashville, TN,- 1997a, - Dec.1- p.99-104.

166. Bagirov E., Lerche I. Thermal Anomalies and Turbidite Hazards in Offshore South Caspian Basin // Zentralblatt fur Geologie und Paleontologie. Teil I., 10-12, - 1997b, - p. 1347-1374.

167. Bagirov E., Lerche I. Risk and Uncertainty Assessment of Basin Modeling Results // IAMG-97-Processing of the Third Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, Part 2,ed.Vera Pawlovsky Glahn, CIMNE, Barcelona, Spain, - 1997c, - p. 573-578.

168. Bagirov E., Lerche I. Mud Volcano Hazards in the South Caspian Basin // IAMG-97 – Proceedings of the Third Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, Part 2, ed. Vera Pawlovsky Glahn, CIMNE, Barcelona, - Spain: - 1997d, - p. 597-602.

169. Bagirov E., Lerche I. Mud diapirism and its influence on the formation and distributions of oil and gas fields // Тезисы Международного совещания-семинара «Новейшая тектоника и ее влияние на формирование и размещение залежей нефти и газа», - Баку, - 1997е,- р.. 34-35.

170. Bagirov E., Lerche I. Dynamic models of the offshore mud volcanoes flows // Тезисы Международного совещания-семинара «Новейшая тектоника и ее влияние на формирование и размещение залежей нефти и газа», - Баку:- 1997f, -

p. 35-37.

171. Bagirov E., Lerche, I. Flaming eruptions in the South Caspian basin and heating hazards // Тезисы Международного совещания-семинара «Новейшая тектоника и ее влияние на формирование и размещение залежей нефти и газа», - Баку: -1997г, - с. 37-38.

172. Bagirov E., Lerche I. Potential Oil-Field Discoveries for Onshore and Offshore Azerbaijan // Marine & Petroleum Geology, - Vol.15, -1998a. - p.11-19.

173. Bagirov E., Lerche I. Flame Hazards in the South Caspian Basin // Energy Exploration & Exploitation, - Vol. 16, - 1998b. № 4, -p. 373-397.

174. Bagirov E., Lerche I. Breccia Hazards in the South Caspian Basin // Energy Exploration & Exploitation, - V.16, - 1998c, - p.153-184.

175. Bagirov E., Lerche I. Hydrate Hazards in the South Caspian Basin // OTC 8642, - 1998d, - p.125-131.

176. Bagirov E., Lerche I. Probability and Sensitivity Analysis of Two-Dimensional Basin Modeling Results. In Numerical Experiments in Stratigraphy: Recent Advances in Stratigraphic and Sedimentologic Computer Simulations // SEPM Special Publications, - 1999a, - № 62, - p. 35-68.

177. Bagirov E., Lerche I. Rising Mud Diapirs and Their Thermal Anomalies //“Geothermics in Basin Analysis” Forster A. Merriam D. eds. Springer Science + Business Media LLC, - 1999b, - p. 203-218

178. Bagirov E., Lerche I. Statistical Assessment of Mud Volcano Eruptions from Historical Data (Analysis of the Data with Unrecorded Events). // Proceedings of the IAMG Conference,- Portsmouth, UK,- September 2003a, p.10

179. Bagirov E., Lerche I. Estimation of the Hazards Related Mud Volcano Eruptions Based on Computer Models // Proceedings of the IAMG Conference, September 2003, Portsmouth, UK, - p.10-11

180. Bagirov E. Reservoir Characteristics for South Caspian Oil Fields / E.Bagirov, I.Lerche, B.Bagirov, S.Mamedova // OTC-99 Proceedings, 10887, - Vol.1, - 1999, - p. 553-562.

181. Bagirov E. Flaming Eruptions and Ejection from Mud Volcanoes in Azerbaijan:

- Statistical Risk Assessment from the Historical Records / E.Bagirov, R.Nadirov and I.Lerche // Energy Exploration and Exploitation, - Vol. 14, - 1996a. № 6, - p. 535-583.
182. Bagirov E. Earthquakes, Mud Volcano Eruptions and Fracture Formation Hazards in the South Caspian Basin: Statistical Inferences from the Historical Record / E.Bagirov, R.Nadirov and I.Lerche // Energy Exploration and Exploitation, - Vol.14, - 1996b. № 6, - p. 585-606.
183. Bagirov E. Dynamic, thermal and hydrocarbon evolution across a north-south section of the South Caspian basin / E.Bagirov, R.Nadirov and I.Lerche // Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards, Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996c, p.14-15
184. Bagirov E. Dynamical, Thermal and Hydrocarbon Evolution for a North-South Section of the South-Caspian Basin / E.Bagirov, R.Nadirov and I.Lerche // Marine and Petroleum Geology, - Vol.14, - 1997. № 7/8, - p. 773-854.
185. Bagnold R.A. An approach to the sediment transport problem from general physics // Professional Paper USGS, - 1966. № 422-I, - p. 1-137
186. Baillie P. The rise of BHP and Australia's oil fortunes // AAPG Explorer, - V.12, - 2017, - p.18-19
187. Baker P.E. Experiments on hydrocarbon gas hydrates in unconsolidated sand // Natural gases in Marine Sediments (ed. Kaplan I.R.) - New York: Plenum Press, 1972, - p.227-234
188. Barron E.J. Numerical Climate Modeling, A frontier in petroleum source rock prediction: results based on Cretaceous simulations // AAPG Bull, - V.69, - 1985. № 3, - p.448-459.
189. Barron E.J., Washington W.M. The role of geographic variables in explaining paleoclimate: results from Cretaceous climate model sensitivity studies // Journal Geophysical Researches, - 1984, - № 89, - p.1267-1279.
190. Benelli, G.C. Forecasting probability of oil exploration prospects //AAPG Bull, - Vol.51, - 1967, - p.2228-2245.
191. Benitez, S.B., Evolution geodynamique de la Province Cotiere sud Equatorienne au Cretace Superieur-Tertiaire // Geologie Alpine, – 1995, - tome 71, . p.3-163.

192. Bermuda Triangle. // Channel-4. Geofilms, - 1992.
193. Beydoun, Z.R. Petroleum in Zagros Basin: a late Tertiary foreland basin overprinted onto the outer edge of a vast hydrocarbon-rich Paleozoic-Mesozoic Passive margin shelf / Z.R.Beydoun, M.W.Hughes-Clarke, R.Stoneley // Foreland basins and fold belts. AAPG Memoir 55, - 1992, - p.309-339.
194. Blitzer K., Pflug R. DEPO3D a three dimensional model for simulating clastic sedimentation and isostatic compensation in sedimentary basins // in Quantitative dynamic stratigraphy: Ed. T.A. Cross. Prentice Hall, EnglewoodCliffs, -1990, - p.335-348.
195. Boggs S. Jr. Principles of sedimentology and stratigraphy (fifth edition) // Harlow (England): Pearson, - 2014, - 560 p.
196. Bohacs K.M. Lake-Basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated sequence-stratigraphic-geochemical framework / K.M.Bohacs, A.R.Carroll, J.E.Neal [et al.] // Gierlowski-Kordesch and Kelts eds. Lake basins through space and time&AAPG Studies in Geology 46, - 2000, - p.3-34.
197. Brown A. Capillary effect on fault-fill sealing AAPG Bull, - V.87, - 2003. № 3, - p.381-395.
198. Brown D.E. Africa's booming oil and natural gas exploration and production // Strategic Studies Institute and US Army War College press, - 2013, - 315 p.
199. Brunet M-F. The South Caspian Basin a review of its evolution from subsidence modeling / M-F.Brunet, A.V.Korotayev, A.V.Ershov [et al.] // Sedimentary Geology, - V.156, - 2003, - p.119-148.
200. Busby C.J., Ingersoll R.V. Tectonics of Sedimentary Basins // Blackwell Science, Oxford, - 2005, - 579 p.
201. Cao S., Lerche I. Basin Modeling: Application of sensitivity analysis // J. Petr. Science Eng. - V.21, - 1990, - p.523-542.
202. Carroll A.C., Bohacs K.M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in non-marine basins // AAPG Bull, - V.85. – 2001. № 6, - p.1033-1053.
203. Coffin M.F., Rabinowitz P.D. Evolution of the conjugate East African-Madagascan margins and the western Somali Basin // The Geological Society of

- America, Inc., - 1988, - 79 p.
204. Cozzolino, J.M. A simplified utility framework for the analysis of financial risk // Econ.Eval. Sympos. Soc. Pet. Eng., Dallas, TX -1977a,- SPE № 6, 359 p.
205. Cozzolino, J.M. Management of oil and gas exploration risk // Cozzolino Associates, West Berlin, - New Jersey: - 1977b,- p.14-25.
206. Davis J.C. Statistics and Data Analysis in Geology 3rd Edition // Wiley, - 2002, - 656 p.
207. Dercourt J.M., Gaetani M., Vrielynck B., Barrier E., Biju-Duval B., Brunet M.F., Cadet J.P., Crasquin S., Sandulescu M. Atlas Peri-Tethys, Paleogeographic maps / CCGM/CGMW, Paris, 24 maps and explanatory notes,- 2000
208. Devore J. Probability and statistics for engineering and the sciences, 9th ed // Cengage Learning, Boston, - 2016, - 768 p.
209. Doglioni C. On interference between the Early Apennines Marebides back-arc extension and the Alps-Beltics in the Neogene Geodynamics of the Western Mediterranean / C.Doglioni, M.Fernandez, E.Gueguen, F.Sabat // Bull. Soc. Geol. Ital. 118, - 1999, - p.75-89.
210. Doughtry P.T. Clay smear seals and fault sealing potential of an exhumed growth fault // Rio Grande Rift, New Mexico. AAPG Bull., - 2003,- V.87, № 3, p.427-444.
211. Driscoll N.W., Hogg J.R. Stratigraphic response to basin formation: Jeanne d'Arc Basin, offshore Newfoundland // Geological Society, - London: - 1995, - SP 80, - p.145-163.
212. Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G. Pattern classification // Wiley, - 2000, - 688 p.
213. Duppenbecker S.J., Riley G.W., Abdullayev N.R., Green T.J., Doran J. Petroleum Systems of the Shah Deniz field in the South Caspian Basin //Abstract of the International Conference "Modeling Sedimentary Basins and their Petroleum systems", The Geological Society, - London: June 3-4,- 2010, - p. 8-12
214. Edwards J.D., Santogrossi P.A. Divergent / Passive Margin Basins, AAPG Memoir 48, - 1989, - 252 p.
215. English J.M., Lunn G.A., Ferreira L., Yacu G. Geologic Evolution of the Iraqi Zagros, and its influence on the distribution of hydrocarbons in the Kurdistan region //

AAPG Bull, - V.99, - 2015, - p. 231-272.

216. Fairbanks M.D., Ruppel S.C., Rowe H. High-resolution stratigraphy and facies architecture of the Upper Cretaceous (Cenomanian-Turonian) Eagle Ford Group // Central Texas. AAPG Bull, - 2016,-V.100, № 3, p.379-403

217. Faulds J.E., Geissman J.W., Mawer C. Structural development of a major extensional accommodation zone in Basin and Range Province, Northwestern Arizona and Southern Nevada; Implication for kinetic models of continental extensions // Geol.Soc.Amer. Memoir 176, - 1990, - 511 p.

218. Feizullayev A.A. Source potential of the Mesozoic-Cenozoic rocks in the South Caspian Basin and their role in forming the oil accumulations in the Lower Pliocene reservoirs / A.A.Feizullayev, I.S.Guliyev, M.F.Tagiyev // Petroleum Geosciences, - Vol.7, - 2001, - p.409-417.

219. Gautier D.L. Kimmeridgian shales total petroleum system of the North Sea graben province // USGS Bull. 2204, - 2005, - 24 p.

220. Gibson R.G., Bentham P.A. Use of fault-seal analysis in understanding petroleum migration in a complexly faulted anticline trap, Columbus basin // Offshore Trinidad. AAPG Bull, - V.87, -2003. № 3, - p. 465-478.

221. Ginsburg G.D. Gas Hydrates of the South Caspian International Geology Review / G.D.Ginsburg, R.A.Guseynov, A.A.Dadashev, G.A.Ivanova, F.A.Kazantsev, S.A.Solovyev, E.V.Telepnev, R.Y.Askeri-Nasirov, A.D.Yesikov, V.I.Maltseva, Yu.G.Mashirov, I.Yu.Shabayeva // 34, -1992,- p. 765-782

222. Golonka J. Geodynamic evolution of the South Caspian Basin // In Yilmaz P.O., Isaksen G.H. eds. Oil and gas of the Greater Caspian area. AAPG Studies in Geology 55, - 2007, - p.17-41.

223. Granath J.W., Soofi K.A., Baganz O.W., Bagirov E. Gravity modeling and its implications to the tectonics of the South Caspian Basin // AAPG Regional International conference, Istanbul, - Turkey: - 2000, - p.16-19.

224. Granath J.W. Gravity Modeling and its Implication to the Tectonics of the South Caspian Basin, in Oil and Gas of the Greater Caspian Area / J.W.Granath, K.A.Soofi, O.W.Baganz, E.Bagirov // AAPG Studies in Geology 55, Eds. Yilmaz, P.O., Isaksen,

G.H, - 2007, - p. 43-46.

225. Green T.N. Sedimentation and subsidence in the South Caspian Basin, Azerbaijan / T.N.Green, N.R.Abdullayev, J.Hossack [et al.] // Brunet, Wilmsen, Granath eds. South Caspian to Central Iran Basins // Geological Society, - London: Special Publication, - V. 312, - 2009, - p. 241-260.

226. Guliyev I.S., Levin L.E., Fedorov D.L. Hydrocarbons potential of the Caspian region. - Baku: Nafta-Press, - 2003, - 119 p.

227. Hantschel T., Kauerauf A.I. Fundamentals of basin and petroleum systems modeling // Springer-Verlag, - Berlin: - 2009, - 476 p.

228. Harbaugh J.W., Banham-Carter G. Computer simulation in geology // Waley Interscience, - New York: - 1970, - 575 p.

229. Harbough J.W., Davis J.C., Wendebourg J. Computing risk for oil prospects. Principles and programs // Computer methods in Oxford geosciences 14, Pergamon Press, UK, - 1995, - 452 p.

230. Harbaugh J.W., Doveton J.H., Davis J.C. Probability methods in oil exploration // John Wiley & Sons, - New York: - 1977, - 269 p.

231. Harris N.B. The character and origin of lacustrine source rocks in the Lower Cretaceous synrift section / Harris N.B., Freeman K.H., Pancost R.D. [et al.] // Congo basin, west Africa, AAPG Bull, - V. 88, - 2004. № 8, - p.1163-1184.

232. Hinds D.J. Sedimentation in a discharge dominated fluvial-lacustrine system: the Neogene Productive Series of the South Caspian Basin / D.J.Hinds, E.Aliyeva, M.B.Allen [et al.] // Marine and Petroleum Geology, Azerbaijan, - V. 21, - 2004. № 5, - p. 613-638.

233. Hippler S.J. Microfractures and diagenesis in North Sea fault zones: implication for fault-seal potential and fault migration rates // In R.C.Surdam ed. Seal, trap and the petroleum system, AAPG Memoir 67, - 1997, - p.85-101.

234. Hot Ice, "Antenna" series of BBC-2 // Geofilms. - 1991.

235. Hudson S.M., Johson C.L., Afandiyeva M.A. Spacial and temporal variability of Paleocene-Miocene organofacies of the Kura Basin, eastern Azerbaijan, and implications for basin evolution and petroleum generation // Organic geochemistry, - -

- V. 97, - 2016, - p.131-147.
236. Hunt J.M. Petroleum geochemistry and geology // W.F.Freeman and Co., - New York: - 1995, - 743 p.
237. Ivanov V.V., Guliyev I.S. Mass exchange, hydrocarbon formation and phase transition at the sedimentary basins. - Baku: Nafta-Press, - 2001, - 135 p.
238. Jackson J., Priestley K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the South Caspian Basin // J. Geophys. Int., - V.148, - 2002, - p.214-245.
239. Javanshir R.J. Validation of lateral fluid flow in an overpressured sand-shale sequence during development of Azeri-Chirag-Gunashli oil field and Shah Deniz gas field: South Caspian Basin / Javanshir R.J., Riley G.W., Duppenbecker S.J., Abdullayev Z. // Azerbaijan & Marine and Petroleum Geology, - V. 59, - 2015, p.593-610.
240. Katz B., Narimanov A., Huseynzadeh R. Significance of microbial processes in gases of the South Caspian basin // Marine and Petroleum Geology, - V. 19, -2002. № 6, - p. 783-796
241. Kelly J.M. A new interpretation of information rate // Bell System Technical Journal 35, (4), - 1956, - p. 917-926
242. Klosterman M.J. Hydrocarbon system of the Evlakh-Agdzabedi Depression / M.J.Klosterman, M.A.Abrams, E.A.Aleskerov [et al.] // Azərbaycan Geoloqu, - 1997. № 1, p.90 – 120
243. Knap C.C., Knap J.H., Connor J.A. Crustal scale structure of the South Caspian Basin revealed by deep seismic reflection profiling // Marine and Petroleum Geology, - V. 21, - 2004, - p.1073-1081
244. Kutzbach J.E. Modeling of Paleoclimates //Advances in Geophysics, - V.28, - 1985, Part A, - p.159-196
245. Lamerson P.R. The fossil basin and its relationship to the Absaroka thrust system. Wyoming and Utah // Geological Studies of the Cordillerian Thrust Belt, Ed.Powers R.B., - Vol.1, - 1992, - p. 279-340.
246. Landon S.M. Interior Rift Basins // AAPG Memoir 59, -1994, - 276 p.
247. Laroque C. Experimental Modeling of fore-arc basin development during

- accretionary wedge growth // Basin Reserche, - Vol.7, - 1995, - p.225-268.
248. Leighton, M.W. Interior Cratonic Basins / Leighton M.W., Kolata D.R., Oltz D.F., Eidel J.J (eds) //AAPG Memoir 51, - 1990, - p. 16-20.
249. Lerch B. Regional Petroleum alteration trends in Barents Sea oils and condensates as a clue to migration regimes and processes / B.Lerch, D.A.Karlsen, T B.Abay [et al.] //AAPG Bull, - V.100, - 2016. № 2, - p.165-190.
250. Lerche I. Geological risk and uncertainty in oil exploration // Academic Press - 1997, - 658 p.
251. Lerche I. A Review of economic risking methods commonly used in hydrocarbon exploration // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology (published on-line December 2018), DOI 10.1007/s13202- 018-0602-9, - 2018, - 13 p.
252. Lerche I. South Caspian Basin: Stratigraphy, Geochemistry and Risk Analysis / Lerche I., Ali-Zade A., Guliev I., Bagirov E. [et al.]. - Baku: Nafta-Press, - 1997, - 430 p.
253. Lerche I., Bagirov E. Deformation and stress caused by the rising mud diapir // Abstracts of the international Workshop "Neotectonics and its impact on the formation and distribution of oil and gas fields", - Baky: - 1997a, - p.121-122.
254. Lerche I., Bagirov E. 1 Neotectonic precesses and gas hydrates forming // Abstracts of the international Workshop "Neotectonics and its impact on the formation and distribution of oil and gas fields", - Baky: - 997b. - p.123-124.
255. Lerche I., Bagirov E. Guide to Gas Hydrate Stability in Various Geological Settings // Marine&Petroleum Geology, - Vol. 15, - 1998, - p. 427-437.
256. Lerche I., Bagirov E. Impact of Natural Hazards on Oil and Gas Extraction: The South Caspian Basin // Kluwer Academic/Plenum Publisher, - 1999, - 338 p.
257. .Lerche I., Bagirov E. Dynamic Hydrate Changes with Time // OTC 14031, Proceedings of the Offshore Technology Conference, May, - 2002, - p.34-59.
258. Lerche I., Bagirov E. World estimates of Hydrate Resources, Basic Properties of Hydrates, and Azerbaijan Hydrates // Energy Exploration and Exploration, - V.22, - 2004.№ 1, - p. 3-56.
259. Lerche I. Evolution of the South Caspian Basin: Geologic Risks and Probable

Hazards / I.Lerche, E.Bagirov, R.Nadirov, M.Tagiyev and I.Guliyev. - Baku: Nafta Press, - 1996, - 625p.

260. Lerche I., MacKay J.A. Economic risk in hydrocarbon exploration // Academic Press, Waltham, Mass, - 1999, - 403 p.

261. Lerche I. Petersen K. Salt and sediment dynamics // CRC Press, - 1995, - 336 p.

262. Lowrie A. Hydrate Stability Zone Permanence Along Dynamic Louisiana Offshore / A.Lowrie, M.Max, R.Hamiter, I.Lerche, E.Bagirov // Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, - Vol. XLVII, - 1997, - p. 311-315.

263. Magoon L.B. Tuxedni-Hemlock Petroleum system in Cook Inlet // Magoon and Dow eds. The petroleum system – from source to trap. AAPG Memoir 64, Alasca: USA, - 1994, - p. 359-370.

264. MacKay J.A. Similarity, Dependence and Correlation Considerations for Risk Adjusted Values in Hydrocarbon Exploration / J.A.MacKay, E.Bagirov, and I.Lerche, // Energy Exploration and Exploitation, - Vol. 14, - 1996. № 5, - p. 463-493.

265. Mats V.D., Perepelova T.I. A new perspective on evolution of the Baikal rif // Geoscience Frontiers, - V. 2, - Issue 3, - 2011, - p.349-365.

266. Mauboussin M.J. The success equation: untangling skill and luck in business, sports, and investing. - Boston: Harvard Business Review Press, - 2012,- 320 p.

267. Megill R.E. An introduction to exploration economics // Tulsa, Petroleum Publishing Company, - 1971, - 159 p.

268. Mehr R.I., Hedges B.A. Risk management in the business enterprise // Homewood III, R.D. Irwin, - 1963, - 648 p.

269. Middleton G.V. Experiments on density and turbidity currents // II. Uniform flow of of density currents. Can. J. Earth Science, 3,- 1966, - p. 627-637

270. Milkov A.V. Risk tables for less biased and more consistent estimation of geological success (PoS) for segments with conventional oil and gas prospective resources // Earth Science Review, - V. 150, - 2015, - p. 453-476.

271. Milkov A.V. Integrate instead of ignoring: base rate neglect as a common fallacy of petroleum explorers // AAPG Bull, - V.101, - 2017. № 12, - p. 1905-1916.

272. Milkov A.V., Navidi W.C. Randomness, serendipity, and luck in peroleum

- exploration // AAPG Bull, - V.104, - 2020. № 1, - p.145-176.
273. Milkov A.V., Samis J.M. Turning dry holes from disasters to exploration wisdom: decision tree to determine the key failure mode for segments in conventional petroleum prospects // AAPG Bull, - V.104, - 2020. № 2, - p. 449-475.
274. Morris E.A. Integrated outcrop and subsurface data to assess the temporal evolution of a submarine channel-levee system / E.A.Morris, D.M.Hodgson, S.Flint [et al.] // AAPG Bull, - V.100, - 2016. No 11, - p.1663-1691.
275. Nadirov R., Bagirov E., Lerche I. Predicted hydrocarbon accumulations and pressure evolution for a 2D Section of the South Caspian Basin // International conference: Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards. Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996, - p. 8-9.
276. Nadirov R.S. Flexural Plate Subsidence, Sedimentation Rates, and Structural Development of the Super-deep South Caspian Basin // Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards / Nadirov R.S., Bagirov E., Tagiyev M., Lerche I.// Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: 1996a. - p. 4-5.
277. Nadirov R.S., Bagirov E., Tagiyev M., Lerche I. Flexural Plate Subsidence, Sedimentation Rates, and Structural Development of the Super-deep South Caspian Basin // AAPG/ASPG research symposium "Oil and gas petroleum systems in rapidly subsiding basins". - Baku: -1996b. - p.5-9
278. Nadirov R.S. Flexural Plate Subsidence, Sedimentation Rates, and Structural Development of the Super-deep South Caspian Basin / R.S.Nadirov, E.B.Bagirov, M.F. Tagiyev and I.Lerche // Marine and Petroleum Geology, - Vol. 14, - 1997. № 4, p. 383-400.
279. Narimanov A.A. The petroleum systems of the South Caspian Basin // Dore A.G. et al. eds. Basin modeling advances and applications: NPF special publication 3, - 1993, - p.599-608
280. Narimanov A.A. The Bahar oil and gas-condensate field in the South Caspian Basin / A.A.Narimanov, N.A.Akperov, T.I.Abdullayev // Petroleum Geosciences, -

V.4, - 1998, - p. 253-258.

281. Neumaier M. Integrated charge and seal assessment in the Monagas fold and thrust belt of Venezuela / Neumaier M., Littke R., Hantschel T. [et al.] // AAPG Bull, - V.98, - 2014. № 7, - p.1325-1350

282. Olsen P.E. Tectonic, climatic, and biotic modulation of lacustrine ecosystem: example from the Newark supergroup of eastern North America // In Katz B. (ed.) Lacustrine basin exploration: case studies and modern analogs, AAPG Memoir 50, - 1990, - p. 209-224

283. Olsen, P.E. Source Rock and Rift Tectonics Field and core Workshop: Tropical lacustrine Systems in Rift and Interior Basins // Nautilus World Ltd., - 2009, - 126 p.

284. Olsen P.E., Kent D.V. High resolution early Mesozoic Pangean climatic transect in lacustrine environments // Bachman G., Lerche I. (eds.), Epicontinental Triassic, Zentralbrates fur Geologie und Palaontologie, VIII, - V.3, - 2000. - p. 1475-1496.

285. Passey Q.R. From oil-prone source to gas-producing reservoir – geologic and petrophysical characterization of unconventional shale-gas reservoirs / Passey Q.R., Bohacs K.M., Esch W.L., Klimentidis R., Sinha S. // SPE 131350, - 2010,- 29 p.

286. Peel F. Prospect risk, hot odds, and efficient drill or no-drill decision making: What the exploration business can learn from high stakes poker // AAPG Bulletin, - V.100, - 2016. № 4, - p. 525-535.

287. Peron-Pinvidic G., Manatschal G. From Microcontinents to extensional allochthons: witnesses of how continents rift and break apart? – Petroleum Geoscience, - Vol. 16, - 2010. - p. 189-197.

288. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. V. 1. Cambridge University Press, - 2005, - 471 p.

289. Peterson J.A., Clarke, J.W. Geology, and Hydrocarbon habitat of the West Siberian Basin // AAPG Studies in Geology, - 1991. № 32, - 96 p.

290. Pinkston F.W., Flemings P.B. Overpressure at the Macondo well and its impact on the Deepwater Horizon blowout // Nature. Scientific Reports. 9:7047, - 2019, - p.1-11.

291. Raiffa H. Decision analysis: Introductory lectures on choices under uncertainty //

- Addison-Wesley Publishing Co, Reading, - 1970. - 309 p.
292. Reynolds A.D. Implication of outcrop geology for reservoirs in the Neogene Productive Series: Apsheron Peninsula, Azerbaijan / Reynolds A.D., Simmons M.D., Bowman M.D., Henton J., Brayshaw A.C., Ali-zadeh A.A., Guliyev I.S., Suleymanova S.F., Atayeva E.Z., Mamedova D.N., Koshkarly R.O. // AAPG Bull, - V.82, - 1998. - p. 25-49.
293. Rose P.R. Dealing with risk and uncertainty in exploration & How can we improve // AAPG Bull, - V.71, - 1987. - p.1-16.
294. Rose P. Risk analysis and management of Petroleum exploration ventures // AAPG Methods in Exploration series, - 2001, - 164 p.
295. Roure F. Shallow Structures induced by deep-seated thrusting // In Petroleum and Tectonics in Mobile Belts. Ed. Letousey and Technip, - 1990. - p.15-30.
296. Royden L.H., Horwath F. The Panonnian Basin // A study in Basin Evolution AAPG Memoir 45, - 1998. - p.37-55.
297. Sales J.K. Seal strength vs trap closure – a fundamental control on the distribution of oil and gas // In R.C.Surdam ed. Seal, trap and the petroleum system, AAPG Memoir 67, -1997, - p.57-83.
298. Saller A., Lin R., Dunham J. Leaves in turbidite sands: the main source of oil and gas in deep-water Kutei Basin, Indonesia // AAPG Bull, - V. 90, - 2006. № 10, - p.1585-1608
299. Saller A. Presalt stratigraphy and depositional systems in the Kwanza Basin, offshore Angola / A.Saller, S.Rushton, L.Buambua [et al.] //AAPG Bull, - V.100, - 2013. № 7, - p. 1135-1164.
300. Schlaifer R. Introduction to statistics for business decisions // McGraw-Hill Book Co. - New York: - 1961. - 382 p.
301. Seyidova A., Hamzayeva T., Aliyeva L., Najafzadeh G., Ismayilzadeh S., Naghiyev R., Mahyaddinli E., Karimov E., Mammadov I., Huseynova D. and Bagirov E.B. Sequence Stratigraphic Framework of the Upper Jurassic-Cretaceous Section of Khizi-Altyagaj Area (Eastern Part of the Greater Caucasus) // Third International Conference on Geology of the Caspian Sea and Adjacent Areas, - Baku, - 2019a. -

p.12-14.

302. Seyidova A., Hamzayeva T., Aliyeva L., Najafzadeh G., Ismayilzadeh S., Naghiyev R., Mahyaddinli E., Karimov E., Mammadov I., Huseynova D. and Bagirov E.B. Structural Styles and Tectonic History of the Candy Cane Mountains (Eastern Part of the Greater Caucasus) // Third International Conference on Geology of the Caspian Sea and Adjacent Areas, - Baku: - 2019b. - p. 13-17.

303. Smith-Rouch L.S. Oligocene-Miocene Maykop/Diatom total petroleum system of the South Caspian Basin province, Azerbaijan, Iran and Turkmenistan // USGS Bull 2201-I, - 2006, - 27 p.

304. Solheim A., Elverhoi A. Gas related seafloor craters in the Barents Sea // Geo-Marine Letters, 21, - 1993. - p. 12-19.

305. Speed R.C. Geological and hydrocarbon evolution of Barbados / Speed R.C., Barker L.H., Payne P.B. // Journ. Of Petroleum Geology, - V.14, -1991. - p. 342-352.

306. Stewart S.A., Davies R.J. Structure and emplacement of mud volcano systems in the South Caspian Basin // AAPG Bull, - V.90, - 2006. № 5, - p. 771-786.

307. Suarez B.E.S., Withjack M.O., Schlische R. Evolution of the Jeanne d'Arc basin, offshore Newfoundland, Canada: 3D seismic evidence for >100 million years of rifting // AAPG Conference, Pittsburg, Pennsylvania, - 2013. - p.25-30.

308. Tagiyev M.F. Geohistory, thermal history and hydrocarbon generation history of the north-west South Caspian Basin // Evolution of the South Caspian Basin: geological risks and probable hazards / M.F.Tagiyev, R.Nadirov, E.Bagirov, I.Lerche // Geological Institute of the Azerbaijan Academy of Sciences, - Baku: - 1996a. - p.6-7.

309. Tagiyev M.F., Nadirov R., Bagirov E., Lerche I. Geohistory, thermal history and hydrocarbon generation history of the north-west South Caspian Basin // AAPG/ASPG research symposium "Oil and gas petroleum systems in rapidly subsiding basins", - Baku: - 1996b. - p.79-91.

310. Tagiyev M.F. Geohistory, Thermal History and Hydrocarbon Generation History of the North-West South Caspian Basin / M.F.Tagiyev, R.S.Nadirov, E.B. Bagirov and I.Lerche // Marine and Petroleum Geology, - vol. 14, - 1997. № 4, - p. 363-382.

311. Tetzlaff D.M. SEDO: A simple clastic sedimentation program for use in training

- and education // Quantitative dynamic stratigraphy: Ed. T.A. Cross. Prentice Hall, EnglewoodCliffs, -1990, - p. 401-405
312. Tiercelin J.-J., Cohen A.S., Soreghan M.J., Lezzar K.-E. Pleistocene-modern deposits of the Lake Tanganyika rift basin, East Africa: a modern analog for lacustrine source rocks and reservoirs. – SEPM SP. AAPG 1994, Denver meeting, - 1999, - p. 37-59
313. Toma S.V., Chirita M., Sarpe D. Risk and uncertainty // Precedia Economics and finance, - Vol.3, - 2012. - p. 975-980.
314. UK Legislation Health and safety at work etc. Act, 1974: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/37/contents>
315. Ulmishek G.F Structure, stratigraphy and petroleum geology of the Pripyat and Dniepr-Donts Basins Belarus and Ukraine // Interior rift basins, Ed. – Landon: AAPG Memoir 59, - 1994, - p. 125-156.
316. Ulmishek G.F. Petroleum geology and resources of the Middle Caspian Basin. Former Soviet Union // USGS Geological Survey Bulletin 2201-A, - 2001, - 38 p.
317. Vavra L.C. Geological applications of capillary pressure: a review/ Vavra L.C., Kaldi J.G., Sneider R.M. //AAPG Bull, - V.76, - 1992. № 6, - p. 840-850.
318. Vayssaire A., Abdallah H., Hermoza W., Figari-Negri E.G. AAPG International Conference, Cartagena, Columbia: - 2013, - p. 79-85.
319. Wilkins S.J., Naruk S.J. Quantitative analysis of slip-induced dilation with application to fault seal // AAPG Bull, - V.91, - 2007. № 1, - p. 97-113.
320. Wu S., Balley A.W. Slope tectonics – comparison and contrasts of structural styles of salt and shale tectonics of the Northern Gulf of Mexico with shale tectonics of Offshore Nigeria in Gulf of Guinea // Geophysical Monograph 115, - 2000. - p.151-172.
321. Zeynalov F. The oil and gas resources of Azerbaijan. A country's transformation into a regional energy hub // Connaissance et Savoirs, - 2016. - 246 p.
322. Barrios F., Sams R.H. Analisis sismoestratigrafico en el area de Amarilis // Norte de Monagas. VI Congreso Venezolano de Geofisica, -1992. № 6, p. 62-69.
323. Duval B., Cramés G., Valdes G. Campos gigantes de finales de los 80 //

Asociados con subduccion tipo “A” en Suramerica. Bol Soc. Venezolana de Geol., - vol.19, - 1994. p.20-40.

324. Prieto R., Valdes G. El Furrial oil field – a new giant in old basin // Giant oil and gas fields of the decade 1978-1988. Ed. Halbouty M.T., AAPG Memoir 54, - 1992. - p.17-19.