МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



НАФИКОВ ИЛЬШАТ ФЛЮРОВИЧ

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АЛДАНО-МАЙСКОЙ ВПАДИНЫ И ОЦЕНКА ЕЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА

(НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БАССЕЙНОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

Специальность 25.00.12 –

геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в АО «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт»

Научный руководитель – Маргулис Лазарь Соломонович, доктор геолого-минералогических наук

Официальные оппоненты – Карнюшина Евгения Емельяновна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых

Харахинов Валерий Владимирович, доктор геолого-минералогических наук

Пошибаев Владимир Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры литологии ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»

Защита диссертации состоится 1 июня 2018 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.04.06. Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: г. Москва, Ленинские горы, 1, ауд. 608

E-mail: poludetkinaelena@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА» https://istina.msu.ru/dissertation_councils/councils/46006686/

Автореферат разослан « » апреля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук Е.Н. Полудеткина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Проблема освоения углеводородного потенциала территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока является важным фактором реализации стратегических инициатив Российской Федерации в сфере развития ТЭК. Энергетической стратегией России в качестве одной из приоритетных задач развития нефтегазового комплекса страны на период до 2020 г. рассматривается формирование новых центров добычи нефти и газа именно в восточных районах страны с развитием соответствующей инфраструктуры, что позволило бы удовлетворить не только внутренние нужды, но и диверсифицировать экспортные поставки российских углеводородов (УВ), направив их в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Требуемый прирост запасов нефти на невыявленных месторождениях Восточной Сибири и Дальнего Востока до 2020 г. планируется в объеме 1-1,2 млрд т.

Одной из перспективных территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока на поиски месторождений УВ является Алдано-Майская впадина. Впадина расположена на юго-восточной окраине Сибирской платформы, и практически полностью попадает в контуры Предверхояно-Майской зоны, одной из четырнадцати первоочередных нефтегазоперспективных зон, выделенных Федеральным агентством по недропользованию в 2013 году на территории России. В этой связи крайне важным становится научное обоснование постановки здесь нефтегазопоисковых работ. В этой связи необходимо на основе новейших сейсмических данных и результатов бурения, обобщения и систематизации материалов прошлых лет, уточнить тектоническое строение, историю геологического развития Алдано-Майской впадины и оценить ее углеводородный потенциал.

Цель диссертационной работы заключалась в уточнении геологического строения Алдано-Майской впадины и оценке перспектив ее нефтегазоносности с использованием технологии бассейнового моделирования.

Поставленные задачи:

1. уточнение строения осадочного выполнения и современной структуры Алдано-Майской впадины;
2. построение сейсмогеологической модели Алдано-Майской впадины;
3. определение основных этапов геологического развития региона;
4. выявление основных факторов нефтегазоносности (прямые признаки нефтегазоносности, нефтегазоматеринские свиты, коллекторы, флюидоупоры, возможные ловушки);
5. проведение бассейнового моделирования с воссозданием истории погружения региона и созревания ОВ пород, анализ генерации, миграции и аккумуляции УВ;
6. количественная оценка нефтегазоносности.

Научная новизна исследования состоит в том, что:

- выделен раннепротерозойский рифтовый этап в становлении Алдано-Майской впадины и подтвержден ее перикратонный тип;
- на основе новейших сейсморазведочных данных и результатах бурения уточнено тектоническое строение впадины (впервые показано ее глубинное строение);
- с помощью компьютерных технологий построены 3Д-модели процессов генерации, миграции и аккумуляции, происходивших в изучаемой нефтегазовой системе и произведена количественная оценка перспектив нефтегазоносности Алдано-Майской впадины.

Практическая значимость работы заключается в уточнении тектонического строения юго-восточной окраины Сибирской платформы и в воссоздании эволюции рифейской нефтегазовой системы Алдано-Майской впадины от ее начального этапа до окончания формирования осадочного чехла с воспроизведением всех происходящих в ней процессов, определяющих, в первую очередь, реализацию углеводородного потенциала. Выделены первоочередные участки поисков и разведки возможных залежей УВ.

Фактический материал и методика исследований. В основу диссертации положены собственные исследования автора – интерпретация новейших сейсмических данных (2000 пог. км), описание керна скв. Усть-Майская-366 (более 70 пог. м.) и совместные исследования (2011-2014 гг.) сотрудников ФГУП «ВНИГРИ» и ОАО «Якутскгеофизика» по вопросам построения сейсмогеологической модели, стратиграфии, тектоники и нефтегазоносности исследуемого региона. В работе использованы многочисленные литературные источники и фондовые материалы по разрезам глубоких скважин в обрамлении Алдано-Майской впадины.

Исследование включало в себя три главных этапа:

1. интерпретацию сейсмического материала;
2. создание сейсмогеологической модели региона;
3. проведение численного бассейнового моделирования с оценкой УВ потенциала Алдано-Майской впадины.

Выделено и прослежено по 34 профилям на большую часть впадины 6 основных отражающих горизонтов (ОГ): R_1 – подошва гонамской свиты нижнего рифея; R_2 – подошва среднерифейских отложений; R_{2mlg} – подошва малгинской свиты среднего рифея; R_{3ign} – подошва игниканской свиты верхнего рифея, VR – подошва вендских отложений, E_2 – подошва кембрийской иниканской свиты.

Создание сейсмогеологической модели впадины основывается на построении структурных карт по 6 ОГ, картам изопахит между ними и вещественному составу рифейских, вендских, кембрийских отложений, изученных в скважинах, а также в естественных разрезах южного и восточного обрамления впадины.

Для комплексного анализа имеющейся геолого-геофизической и геохимической информации, уточнения закономерностей процессов генерации углеводородов и оценки перспектив нефтегазоносности Алдано-Майской впадины осуществлено бассейновое моделирование средствами программного продукта Beicip-Franlab Temis Flow.

Личный вклад соискателя состоит в описании керна скв. Усть-Майская-366 (более 70 пог. м разреза); интерпретации новейших сейсмических данных (более 2000 пог. км); построении сейсмогеологической модели рассматриваемого региона; выполнении численного моделирования Алдано-Майской впадины с оценкой ее углеводородного потенциала; построении ряда карт и схем, среди которых наиболее значимы - тектоническая схема юго-восточной окраины Сибирской платформы и карта перспектив нефтегазоносности Алдано-Майской впадины. Представлено авторское видение и возможное решение спорного вопроса стратиграфической разбивки скв. Мокуйская-1.

Результаты исследований прошли **апробацию** в докладах и обсуждениях на ряде международных и всероссийских конференций: Научно-практической конференции ВНИГРИ «Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России» (Санкт-Петербург, 2013); III Международной конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные проблемы нефтегазовой геологии XXI века» (Санкт-Петербург, 2013); Международной конференции EAGE «Геомодель 2014» (Геленджик, 2014); Научно-практической международной конференции ЕАГО «ГеоКрым 2015» (Алушта, 2015); Международной геолого-геофизической конференции и выставке EAGE «Санкт-Петербург 2016. Через интеграцию геонаук к постижению гармонии недр» (Санкт-Петербург, 2016).

Результаты исследований были использованы в отчетах ФГУП «ВНИГРИ».

Публикации. По теме диссертации персонально и в соавторстве опубликовано 11 работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Объем и структура диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Текст с 58 рисунками и 2 таблицами изложен на 150 страницах. Список использованных источников содержит 115 наименований.

Благодарности. Диссертация выполнена в АО «ВНИГРИ» при всестороннем содействии и помощи заведующего отделом нефтегазоносности территорий и акваторий Востока России доктора геолого-минералогических наук Л.С. Маргулиса.

Автор выражает благодарность управляющему директору АО «ВНИГРИ» О.М. Прищепе за предоставленную возможность выполнения данной работы и использование производственных материалов.

Особенно искреннюю признательность хочется выразить докторам геолого-минералогических наук В.П. Якуцени и Т.К. Баженовой за обсуждение ключевых вопросов, советы и замечания при подготовке работы.

Завершение работы было бы проблематичным без творческой помощи и конструктивной критики бывших и действующих сотрудников АО «ВНИГРИ» Е.Р. Галиевой, А.Н. Устинова, Л.М. Пылиной, Е.А. Маргулис, П.В. Химченко, О.И. Крестиной.

Автор выражает благодарность заведующей отделом аспирантуры АО «ВНИГРИ» Е.Ю. Блинковой, заведующей отделом аспирантуры ФГБУ «ВСЕГЕИ» Л.И. Лукьяновой, а также ее заместителю Н.В. Андреевой.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение

Осадочное выполнение Алдано-Майской впадины состоит из двух структурных этажей: нижнепротерозойско-рифейского и вендско-мезозойского. В нижнем структурном этаже выделены нижнепротерозойско-нижнерифейский ярус (выполняющий отдельные грабены) и собственно рифейский ярус, с которым связаны основные перспективы нефтегазоносности впадины.

Рассматриваемый регион представляет собой юго-восточную окраину Сибирской платформы и южный сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса (Рисунок 1).

Лито-стратиграфическая характеристика разреза основана на описании автором керна скв. Усть-Майская-366, а также литературных данных по рифейской части разреза. Выделение основных структурных элементов впадины, характер распространения и взаимоотношения толщ основаны на выполненной интерпретации новейших сейсмических данных.

Осадочный чехол объединяет нижнепротерозойские(?), рифейские, вендские, палеозойские и мезозойские образования (Рисунок 2). Наиболее существенные изменения полноты разреза, мощностей и вещественного состава подразделений чехла происходят при переходе от Алданской антеклизы к Алдано-Майской впадине и на крайнем востоке региона, где рассматриваемые отложения участвуют в дислокациях Верхояно-Колымской складчатой системы. Чехол платформы состоит из двух структурных этажей: нижнепротерозойско(?)-рифейского и вендско-мезозойского.

Нижнепротерозойско(?)-рифейский этаж наиболее полно представлен в Алдано-Майской впадине. В нем выделено 2 структурных яруса: нижнепротерозойско-нижнерифейский(?) и рифейский. Их граница проводится по ОГ_R_1, который сопоставляется с подошвой учурской серии рифея.

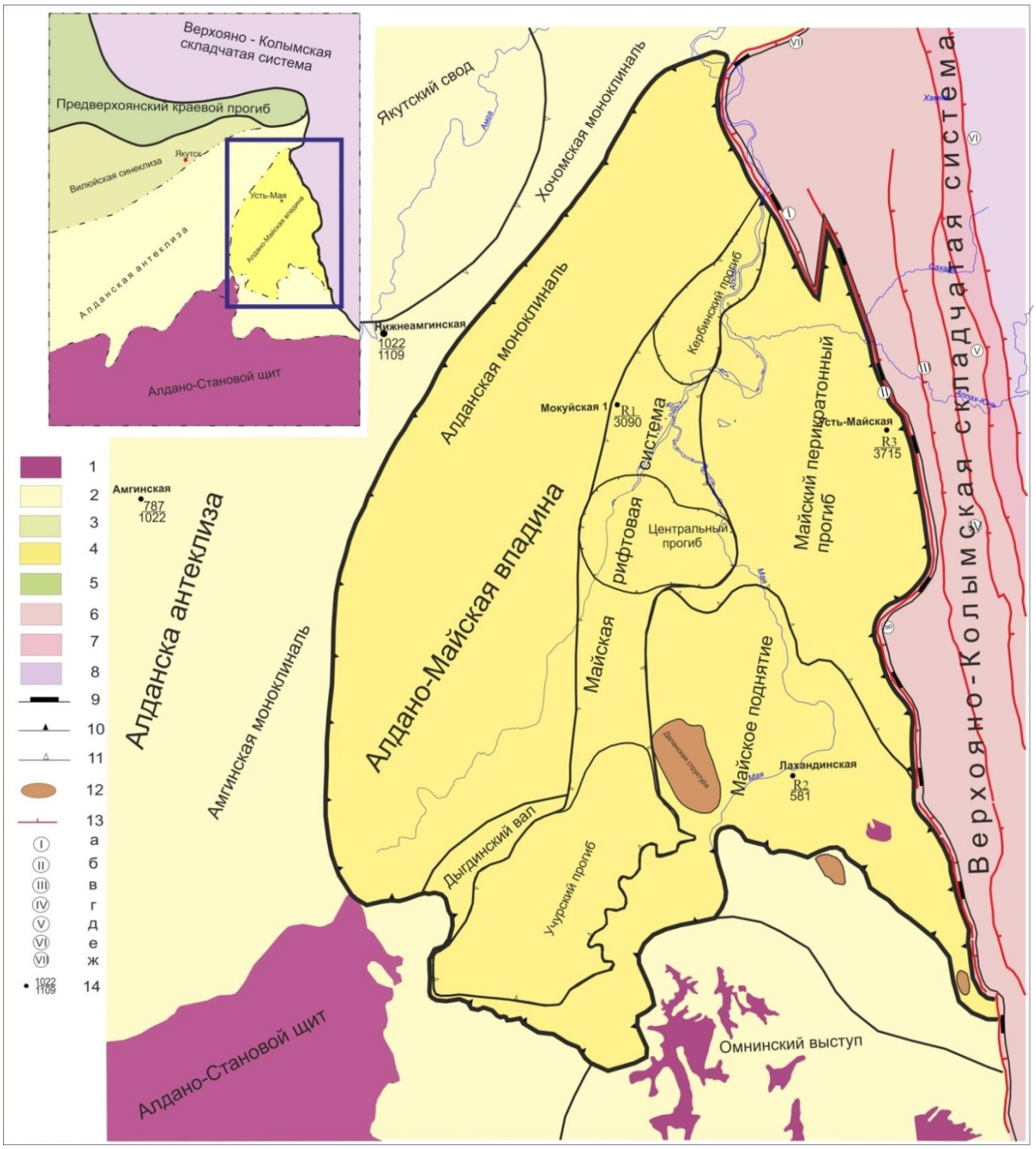


Рисунок 1. Упрощенная тектоническая схема юго-восточной окраины Сибирской платформы

Сибирская платформа: 1 — Алдано-Становой щит и выходы фундамента на Алданской антеклизе; 2 – Алданская антеклиза; 3 – Вилюйская синеклиза; 4 — Алдано-Майская впадина; 5 — Предверхоянский краевой прогиб. 6-8 — Верхояно-Колымская складчатая система: 6 — Кыллахская зона; 7 – Сетте-Дабанская зона; 8 — Южно-Верхоянский синклинорий. Границы структур: 9 – надпорядковых , 10 – I порядка , 11 – II порядка; 12 — выявленные локальные структуры; 13 – фронтальные надвиги (а – Кыллахский, б – Нельканский, в – Гувиндинский, г – Челатский, д – Улахан-Бамский, е – Бурхалинский, ж – Эбейке-Хаятинский); 14 — скважины (числитель - глубина поверхности фундамента или возраст древнейших вскрытых отложений, в знаменателе – глубина забоя скважины)

Общая стратиграфическая шкала			Региональные стратиграфические подразделения		Литологическая характеристика	Максимальная мощность, м	ОГ
Эратема	Система	Отдел	Серия	Свита			
мезозойская	юрская	средний		сугджинская	темно-серые, серые алевролитовые песчаники	550	
		нижний		сунтарская	аргиллиты с подчиненной ролью алевропесчаников	50	
				укугутская	песчаники с прослоями конгломератов, гравелитов и глин	150	YT
палеозойская	кембрийская	средний		танхайско-усть-мильский комплекс	белые, серые и темно-серые скрытокристаллические известняки	70	
				усть-майская	переслаивающиеся серые известняки и зеленоцветные аргиллиты	700	
				чайская	зеленоцветные мергели и известковистые аргиллиты	265	
				иниканская	битуминозные известняки, аргиллиты, мергели	50	ϵ_2
		нижний		пестроцветная	известняки,глинистые известняки с прослоями мергелей и доломитов	150	
	вендская	верхний	юдомская	устьюдомская	доломиты с прослоями доломитовых мергелей и глинистых битуминозных известняков	300	
		нижний		юкандинская	доломиты с пластами серых и темных битуминозных известняков и аргиллитов	100	VR
верхнерифейская			уйская	устькирбинская	тонкоплитчатые алевролиты и аргиллиты	250	
				кандыкская	сероцветные тонкоплитчатые алевролиты, мелкозернистые песчаники и аргиллиты	1100	
			лахандинская	игниканская	переслаивание пачек доломитов и известняков	350	R_{3ign}
				нерюенская	переслаивающиеся пачки известняков, известковистых аргиллитов с прослоями алевролитов	400	
среднерифейская			керпыльская	циапандинская	плитчатые, строматолитовые доломиты	400	
				малгинская	толстослоистые светло-серые известняки	400	R_{2mlg}
				тоттинская	пестроцветные алевролиты с прослоями песчаников, аргиллиты	600	
			аимчанская	светлинская	однообразная толща сероцветных массивных доломитов	150	
				талынская	песчаники и алевролиты нередко с прослоями аргиллитов	400	R_2
			учурская	эннинская	чередующиеся пачки терригенных и карбонатных пород	300	
нижнерифейская				омахтинская	чередование мелко - и среднезернистых песчаников и алевролитов с глинистыми и песчанистыми доломитами	600	
				гонамская	песчаники с прослоями аргиллитов, алевролиты с прослоями глинистых и песчанистых доломитов	900	R_1
нижнепротерозойская			нижнепротерозойская-нижнерифейская(?) нерасчлененная толща			3000	PR_1-R_1?

Рисунок 2. Стратиграфическая схема осадочного выполнения Алдано-Майской впадины

Нижнепротерозойско-нижнерифейский(?) ярус, выполняющий грабены, сейсморазведкой изучен слабо (Рисунок 3). Его мощность может превышать 3 км. Якутские геологи относят эти образования к аналогу нижнепротерозойской улканской серии, заполняющей одноименный грабен на крайнем юго-востоке Алдано-Станового щита [Берзин и др., 2011]. Серия сложена вулканогенно-осадочными образованиями, залегает полого, сравнительно слабо метаморфизирована (до зеленокаменной стадии), что дает основание относить ее к древнейшему комплексу платформенного чехла.

Рифейский структурный ярус резко несогласно перекрывает нижележащие образования в грабенах, а на подавляющей части территории кристаллический фундамент. Ярус расчленяется на два подъяруса: нижнерифейский и средне-верхнерифейский, разделенных поверхностью несогласия (ОГ_R_2).

Сейсмические материалы свидетельствуют о зональном распространении отложений рифея в Алдано-Майской впадине. С востока на запад от фронтальных Нелькано-Кыллахских надвигов Верхояно-Колымскрй складчатой системы, за счет воздымания отложений и эрозионного их срезания предвендским размывом из разреза последовательно исчезают все более древние горизонты. Верхнерифейские отложения мощностью до 2200 м присутствуют на ограниченной территории, вблизи складчато-надвиговой зоны, среднерифейские – мощностью

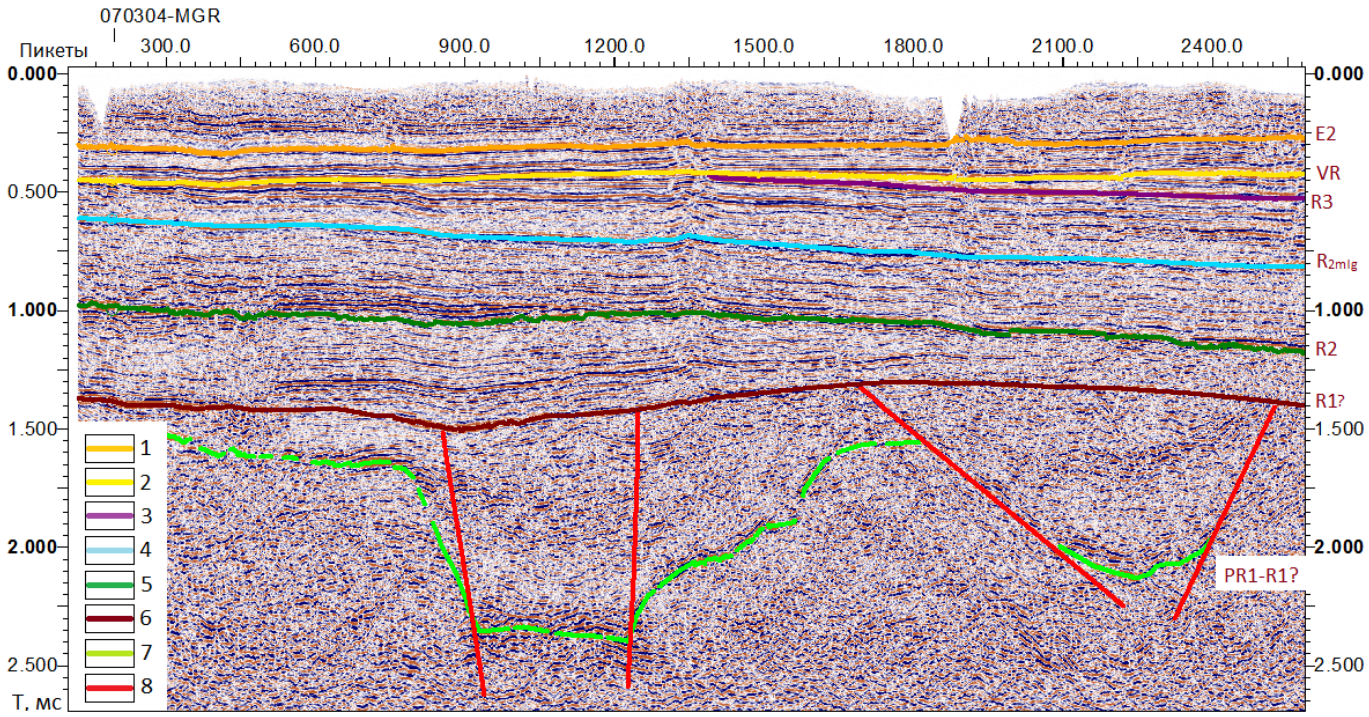


Рисунок 3. Намечающееся положение подошвы нижнепротерозойско-нижнерифейского(?) яруса (фрагмент временных разрезов 070302 и 070303А)

Условные обозначения: 1 – ОГ_E2 – подошва кембрийской иниканской свиты, 2 – ОГ_VR – подошва вендских отложений, 3 – ОГ_R_{3ign} – подошва игниканской свиты верхнего рифея, 4 – ОГ_ R_{2mlg} – подошва малгинской свиты среднего рифея, 5 – ОГ_ R_2 – подошва среднерифейских отложений, 6 – ОГ_ R_1 – подошва гонамской свиты нижнего рифея, 7 – ОГ_ PR_1-R_1? – намечающаяся подошва нижнепротерозойско-нижнерифейскиго(?) яруса, 8 – разломы

до 1800 м имеют более широкое распространение, а нижнерифейские образования, за исключением Омнинского и Майского поднятий, где кристаллический фундамент трансгрессивно перекрывается среднерифейскими отложениями, имеют повсеместное распространение. Мощность нижнерифейских отложений увеличивается к востоку, достигая во впадине 2000 м, а еще восточнее, в Керби-Хамнинской синклинали по данным сейсморазведки – 3800 м. В целом мощность рифейских отложений на востоке Алдано-Майской впадины достигает 5500 м, а еще восточнее, в краевой Кылахской зоне Верхояно-Колымской складчатой системы оценивается в 6500 м. По линии распространения (эрозионного срезания) рифейских отложений проводятся западная и северная границы Алдано-майской впадины.

Вендско-мезозойский структурный этаж разделяется в регионе на два структурных яруса: венд-кембрийский и мезозойский.

Венд-кембрийский ярус резко несогласно залегает на различных горизонтах рифея (ОГ_VR), сложен доломитами и известняками, часто глинистыми и битуминозными, алевролитами, аргиллитами. Общая мощность яруса составляет 1079 м (скв. Усть-Майская-366), 1153 м (скв. Мокуйская-1) и 1180 м (скв. Хочомская-1). В Кыллахской зоне она оценивается не менее чем в 4500-5000 м.

Мезозойский структурный ярус представлен отложениями укугутской, сунтарской и сугджинской свит нижней и средней юры, резко несогласно перекрывающими кембрийские, а в Кыллахской зоне и рифейские образования. Мощность этих отложений увеличивается к северу: от 88 и 633 м соответственно в Мокуйской и Усть-Майской скважинах и до 848 м в Хочомской. На крайнем севере района разрез чехла наращивается меловыми отложениями.

<u>Второе защищаемое положение</u>

Нефтеперспективный чехол впадины сформировался на юго-восточной окраине Сибирской платформы (рифейско-палеозойском перикратоне), а ее современный облик определен позднекиммерийскими фронтальными дислокациями Верхояно-Колымской складчатой системы. Во впадине выделены основные структурные элементы: Майская рифтовая система раннепротерозойского заложения, Майский перикратонный прогиб, Алданская моноклиналь и Майское поднятие.

В тектоническом отношении исследуемый регион принадлежит к южному звену зоны сочленения Сибирской платформы с Верхояно-Колымской складчатой системой. На исследуемой части платформы выделяются следующие главные структурные элементы: Алданская антеклиза, Алдано-Становой щит и Алдано-Майская впадина (см. Рисунок 1).

Алданская антеклиза занимает значительную часть исследованной территории. В наиболее приподнятой южной части антеклизы на поверхности обнажаются породы рифея, в погруженных

частях антеклизы чехол представлен лишь венд-кембрийским и мезозойским структурными ярусами, перекрываемыми кристаллический фундамент.

Алдано-Становой щит представлен архейскими метаморфическими и магматическими образованиями. Рассматриваемая территория включает лишь северо-восточное окончание щита и относится к гранит-зеленокаменному поясу.

Алдано-Майская впадина – центральный структурный элемент рассматриваемой территории. На юге, западе и севере она граничит с Алданской антеклизой, на востоке ее граница определена фронтальными надвигами (Нельканским, Кыллахским, Окраинным) Верхояно-Колымской складчатой системы. Впадина в субмеридиональном направлении протягивается на расстояние 550 км, при максимальной ширине 250 км. Мощность рифей-мезозойского чехла достигает здесь 7 км, а с учетом практически неизученного нижнепротерозойско-нижнерифейского(?) структурного яруса, заполняющего грабены, может достигать значительно больших величин. Несмотря на значительную дифференциацию по площади, в целом мощность чехла увеличивается с запада на восток и максимальных значений достигает у границ с Верхояно-Колымской системой. Байкальский тектогенез (конец позднего рифея) привел к формированию структурного несогласия и отчетливой эрозионной поверхности, разделившей нижнепротерозойско(?)-рифейский и вендско-мезозойский этажи региона. Как самостоятельный структурный элемент Алдано-Майская впадина сформировалась, вероятно, в девоне, окончательное ее становление – поздняя юра-ранний мел.

В Алдано-Майской впадине выделяются: Алданская моноклиналь, Майская рифтовая система, Майский перикратонный прогиб, Майское поднятие, Дыгдинский вал (Рисунки 1, 4).

Алданская моноклиналь представляет собой практически горизонтальное залегание мезозойских (до 500 м) и венд-кембрийских (до 1500 м) отложений и пологое погружение образований рифейского яруса. Рифей представлен только среднерифейскими и нижнерифейскими отложениями, последовательно срезающимися на запад предвендской эрозией. Общая мощность чехла увеличивается с запада на восток от 1200 м до 3800 м.

Майская рифтовая система выделяется по наличию раннепротерозойских грабенов (Рисунки 3, 4). Положение грабенов практически только намечено, так как их древнее выполнение сейсморазведкой изучено слабо. Заложение рифтовой системы сопровождалось магматизмом. В современном структурном плане раннепротерозойские грабены отражаются увеличением мощностей нижне-среднерифейских отложений. Можно предполагать, что проявление вулканизма было характерно для рифтовой системы и позднее, в раннерифейское время. Об этом свидетельствуют породы с пирокластическим материалом, вскрытые в призабойной части (3039-3057 м) скв. Мокуйская-1 [Давыдов и др., 1982]. Рифтовая система протягивается с юга на север на расстояние около 380 км при максимальной ширине около 60 км.

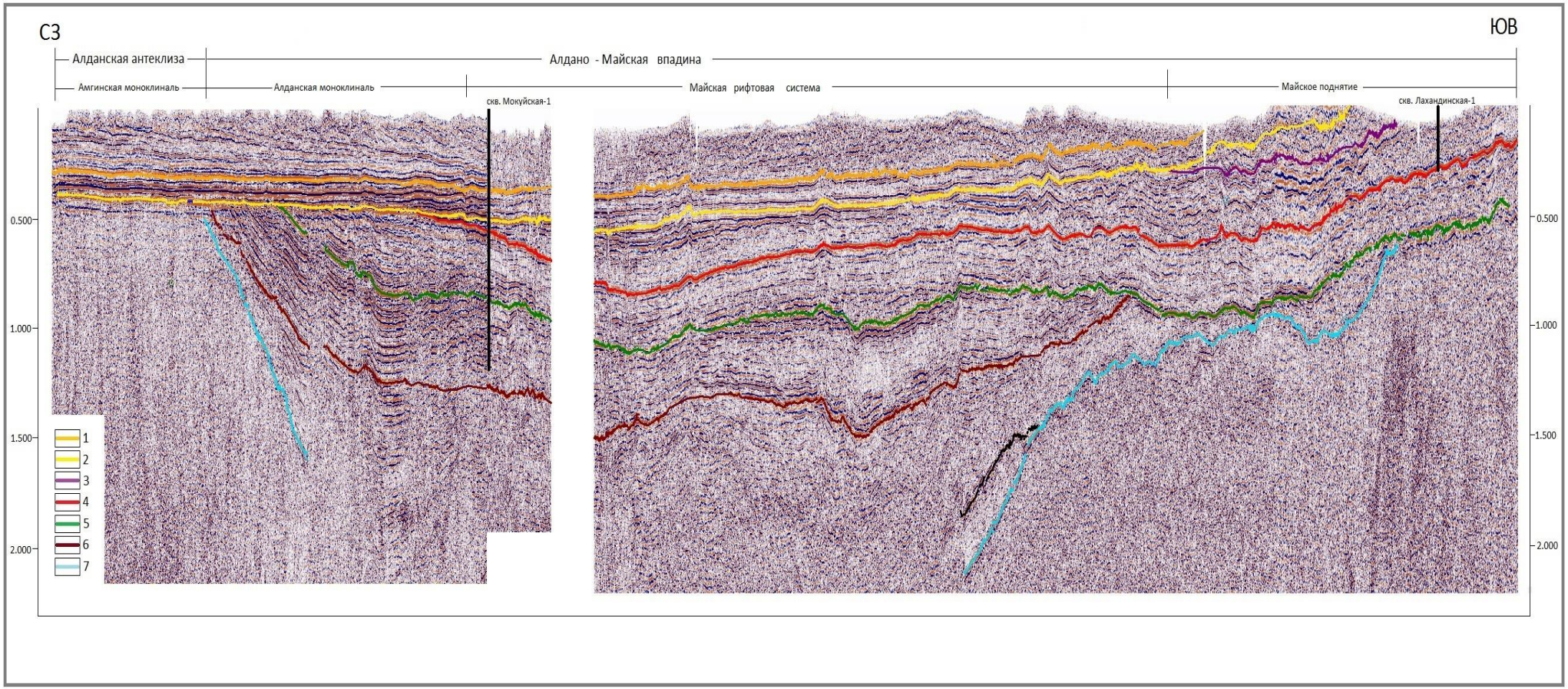


Рисунок 4. Временной композитный разрез через скважины Мокуйская-1 и Лахандинская-1

1 – ОГ_Е2 – подошва кембрийской иниканской свиты, 2 – ОГ_VR – подошва вендских отложений, 3 – ОГ_R_{3ign} – подошва игниканской свиты верхнего рифея, 4 – ОГ_ R_{2mlg} – подошва малгинской свиты среднего рифея, 5 – ОГ_ R_2 – подошва среднерифейских отложений, 6 – ОГ_ R_1 – подошва гонамской свиты нижнего рифея, 7 – ОГ_ PR_1-R_1? – намечающаяся подошва нижнепротерозойско-нижнерифейского(?) яруса, 8 – разломы

Майский перикратонный прогиб – наиболее погруженная часть Алдано-Майской впадины перед фронтом складчато-глыбовых структур Верхояно-Колымской системы. Осадочный чехол практически в полном объеме включает все тектоно-стратиграфические подразделения региона. Исключение составляет нижнепротерозойско-нижнерифейский(?) структурный ярус, который пока сейсморазведкой здесь не опознан. Общая мощность чехла изменяется от 3 до 7,5 км, максимальная мощность рифейских отложений превышает 5000 м.

Майское поднятие является по существу северным периклинальным продолжением Омнинского выступа Алданской антеклизы. Представляет собой структурный мыс (125х100 км), погружающийся в северном направлении. Северная граница поднятия практически совпадает с появлением в чехле юрских отложений. В пределах поднятия, кроме мезозойского комплекса распространены все отложения чехла, но к сводовой его части наблюдается выклинивание нижнерифейских отложений.

Дыгдинский вал соответствует только западной части одноименной структуры, выделяемой предшественниками [Нужнов, 1967]; предполагаемое восточное продолжение вала сейсмическими исследованиями не подтвердилось. Положение Дыгдинского вала определяется достаточно протяженной (120 км) и узкой (10-15 км) цепочкой выходов нижне-среднерифейских и вендских отложений в поле развития кембрийских. Размеры антиклиналей, слагающих Дыгдинский вал, составляют 12-40х30-20 км, амплитуды складок 100-300 м. Северо-западные крылья структур обычно крутые (до 30-70°) и часто связана с продольными сбросами; юго-восточные (3-15°) – пологие. В пределах вала, особенно на севере, наблюдается кулисообразное сочленение складок, указывающее на правосторонние сдвиговые движения.

На исследуемой территории выделено три локальных структуры – Ингилийская, Лахандинская и Даланская (40х20 км), наиболее крупная из них (см. Рисунок 1). Структуры выделены сейсморазведкой на юге Майского поднятия, в поле выходов на дневную поверхность пород венда и во врезанных долинах верхнего рифея. Просматривающиеся на ряде профилей отдельные перегибы позволяют предполагать, что многие структуры, вследствие достаточно редкой сети сейсмопрофилей (0,08 пог. км/ км^2), еще не обнаружены.

Территория юго-восточной окраины Сибирской платформы и смежной складчатой зоны Верхояно-Колымской системы характеризуется отчетливым полициклическим развитием. Самый ранний этап ее истории связан с раннепротерозойско-раннерифейским(?) рифтогенезом – образованием грабенообразных прогибов, устанавливаемых сейсморазведкой на западном склоне современной Алдано-Майской впадины. Последующая рифейская история региона была определена особенностью эволюции перикратона – областью перехода кратона в интенсивно развивающиеся (миогеосинклинальные) прогибы пассивной континентальной окраины. Наиболее масштабные погружения произошли в рифее-раннем палеозое.

Интенсивное прогибание окраины прерывалось байкальской и герцинской эпохами тектогенеза. Окончательная дифференциация перикратона с образованием фронтальных надвиговых структур Верхояно-Колымской складчатой системы и оформлением «остаточной» Алдано-Майской впадины произошла в позднекиммерийскую (раннемеловую) эпоху.

Значительную роль в формировании структуры региона сыграли разломы. Главные из них, в процессе седиментогенеза определяли границы структурно-фациальных зон, а в периоды тектогенеза сформировали чешуйчато-надвиговую структуру складчатой зоны. Имеющиеся данные подтверждают мнения многих исследователей, которые полагают, что эти структуры относятся к листрическим надвигам, крутыми вблизи земной поверхности и переходящими на глубине в полого погружающиеся срывы, не затрагивающие кристаллический фундамент [Парфенов, Прокофьев, 1986; Тектоника Якутии, 2001].

Третье защищаемое положение

Масштабы эмиграции из основного генератора углеводородов региона – битуминозных известняков верхней части среднерифейской малгинской свиты, составляют более 60 млрд. т. Наиболее важными аккумуляционными свойствами обладают карбонатные среднерифейский ципандинский и верхнерифейские нерюенский и терригенный кандыкский резервуары.

В 2013 году на основании картирования нефтегазоматеринских горизонтов и расчетных балансовых моделей ВНИГРИ Т.К. Баженовой был осуществлен подсчет масштабов эмиграции углеводородов и их миграционных потерь в Алдано-Майской впадине. Результаты картирования параметров использованы автором как входные геохимические параметры при построении бассейновой модели [Баженова, Маргулис, 2014].

Бассейновое моделирование в программном пакете Beicip-FranlabTemisFlow ставило перед собой следующие задачи: проанализировать поведение углеводородных систем, восстановить время и масштабы генерации УВ, а также оценить суммарные масштабы эмиграции и осуществить количественную оценку образовавшихся и сохранившихся углеводородов. Под нефтегазовой системой понимается часть осадочного чехла, включающая в себя очаг нефтегазогенерации, пути миграции, коллекторы, ловушки и перекрывающие их породы-флюидоупоры (Рисунок 5).

Данный программный продукт производит расчеты на основании кинетической модели и позволяет в полной мере использовать материалы сейсмических исследований.

Построение бассейновой модели впадины включало в себя следующие этапы:

1. построение структурного каркаса осадочного бассейна;
2. восстановление истории погружения бассейна;
3. определение литологического состава стратиграфических подразделений;



Рисунок 5. Элементы рифейской нефтегазовой системы Алдано-Майской впадины

4. выделение нефтегазоматеринских горизонтов, с определением типа органического вещества и его содержания;
5. построение и калибровка палеотемпературной модели;
6. моделирование процессов катагенеза и генерации углеводородов;
7. моделирование процессов миграции и аккумуляции углеводородов;
8. количественная оценка ресурсов.

Нужно отметить, что TemisFlow предназначен для точного моделирования хорошо изученных и при этом сравнительно спокойных в тектоническом плане регионов. При оценке эмиграции и аккумуляции УВ Алдано-Майской впадины точность моделирования в значительной мере снижается. С одной стороны, это происходит из-за явно недостаточного количества исходных данных (в пределах впадины пробурено всего 3 скважины, по двум из которых утерян керн; отсутствие скважинных данных по битуминозным известнякам малгинской свиты – главного генератора углеводородов региона; редкая сеть сейсмопрофилей – 0,08 км/км^2 и др.), которые в ряде случаев приходится заменять предположениями, основанными на анализе общих закономерностей геохимии органического вещества Сибирской платформы. С другой стороны, сложная тектоническая история региона, наличие на границе региона складчато-надвиговой тектоники, в принципе, выходят за рамки возможностей используемого программного продукта. Таким образом, в данных условиях возможности программы ограничиваются приблизительной оценкой трансформации органического вещества, масштабов эмиграции и аккумуляции УВ.

Несмотря на недостатки, даже приблизительная трехмерная модель, построенная средствами TemisFlow, позволила наглядно визуализировать основные процессы нефтегазообразования и четко отследить их изменения во времени.

За структурную основу бассейновой модели взята сейсмогеологическая модель, построенная автором в интерпретационном программном продукте KINGDOM Software 8.8.

Проведена реконструкция постдевонского и предвендского размывов территории.

Литологический состав стратиграфических подразделений основан на описании автором керна скв. Усть-Майская-366 и литературных данных по средне- и нижнерифейской части разреза.

Для моделирования использованы три нефтегазоматеринских горизонта – среднерифейский малгинский, верхнерифейский игниканский и кембрийский иниканский. Основные характеристики НГМГ, заданные в бассейновую модель были приняты в соответствии с данными балансовой модели Т.К. Баженовой: $C_{орг}$ для малгинского горизонта – 2%, для игниканского – 0,25%, для инниканского – 4%. Химико-кинетические параметры заданы керогеном II типа и были приняты согласно стандартной библиотеке керогенов Temis.

Температурная история бассейна реконструирована в соответствии с представлениями о постепенном уменьшении температурных палеоградиентов после рифей-венд-палеозойского осадконакопления; температурный палеоградиент оценен в 5°С/100 м до раннедевонского времени, с постепенным уменьшением к современным значениям – 1,5°С/100 м [Баженова, 1992].

Моделирование процессов катагенеза и генерации УВ

Как показало осуществленное моделирование, среднерифейский малгинский и верхнерифейский игниканский НГМГ в восточной части региона вошли в зону нефтяного окна уже в вендское время, а максимум распространения их зон нефтегазообразования отмечается в девонское время. В западной части распространения игниканской свиты степень преобразованности ОВ является недостаточной для начала процессов эмиграции нефти.

Катагенез ОВ для среднекембрийской иниканской свиты изменяется в широком диапазоне от $ПК_3$ до $МК_3$ – от самого начала генерации УВ до окончания ГФН. В девонское время наиболее погруженные северные участки (в районе Хочомской моноклинали) достигли градации $МК_1$, а в пределах Майского перикратонного прогиба – $МК_3$. На остальной части территории отложения находятся в настоящее время на градациях $ПК_3$-$МК_1$. Несмотря на достаточно высокие средние концентрации $C_{орг}$ (до 5 %) в породах свиты и значительные масштабы эмиграции, к настоящему времени сохранность всей аккумулировавшей массы УВ ничтожна мала, поскольку выше по разрезу, даже в самых ее погруженных частях находится не более 900 м отложений, которые не могут удержать УВ за более чем 350 млн лет не только погружения (до девона), но и подъема и глубокого размыва [Баженова, Маргулис, 2014].

Согласно полученным результатам (Рисунок 6), масштабы эмиграции нефти из малгинской свиты достигли максимума в Майском перикратонном прогибе перед фронтом Нелькано-Кыллахских надвигов – до 5 млн т/км^2, уменьшаясь в западном направлении, при средних значениях для всего региона – 1,4 млн т/км^2. Для игниканского НГМГ средние плотности эмиграции находятся в пределах от 0,35 до 0,4 млн т/км^2.

Моделирование процессов миграции и аккумуляции УВ и количественная оценка ресурсов

При моделировании процессов миграции и аккумуляции УВ основное внимание уделялось четырем потенциальным коллекторским горизонтам – среднерифейским тоттинскому и ципандинскому и верхнерифейским нерюенскому и кандыкскому.

Аккумуляция нефти **в тоттинском коллекторе** начинается в венде и достигает максимальных значений во второй половине палеозоя. Однако даже в то время наибольшие плотности УВ не превышали 1000 т/км^2, а в настоящее время и вовсе составляют 200-250 т/км^2. Кроме того неблагоприятная структурная позиция и более раннее срезание предвендской эрозионной поверхностью вышележащего локального флюидоупора, а также обильное присутствие алевролитовых прослоев в перспективной средней части свиты, не позволяют рассматривать данный коллектор как нефтеперспективный на территории впадины.

В карбонатных ципандинском и нерюенском коллекторах активное насыщение УВ начинается в венде-раннем палеозое. Наиболее значительная аккумуляция УВ приурочена к девонско-каменноугольному времени. Залежи нефти (Рисунок 7) прогнозируются в центральной и южной частях впадины. Скопления в южной части приурочены к Даланской структуре. Высокая плотность скоплений УВ в центральной части впадины связывается с зоной срезания коллекторов предвендской эрозионной поверхностью, где в подверженных выщелачиванию и карстованию ципандинских доломитах и нерюенских известняках располагается кавернозно-трещинный тип коллектора. Ципандинский и в меньшей степени нерюенский коллекторские горизонты по результатам моделирования определены перспективными на обнаружение здесь залежей нефти. Общее количество УВ в них составляет 140-160 и 70-90 млн т. соответственно.

Кандыкский коллекторский горизонт мощностью 30-40 м, представлен крупно- и среднезернистыми песчаниками. Залежи нефти связаны с наиболее приподнятой зоной распространения кандыкских песчаников в центральной части впадины (основным фактором формирования залежей становится низкая проницаемость вендского флюидоупора, способствующая формированию стратиграфически экранированных ловушек) и Даланской структурой на юге. Экранирующей толщей служат аргиллиты с примесью алевритового материала верхней части кандыкской свиты, аргиллиты вышележащей устькирбинской и перекрывающие глинисто-карбонатные породы юдомской серии венда. Общее количество УВ в коллекторе составляет 80-100 млн т.

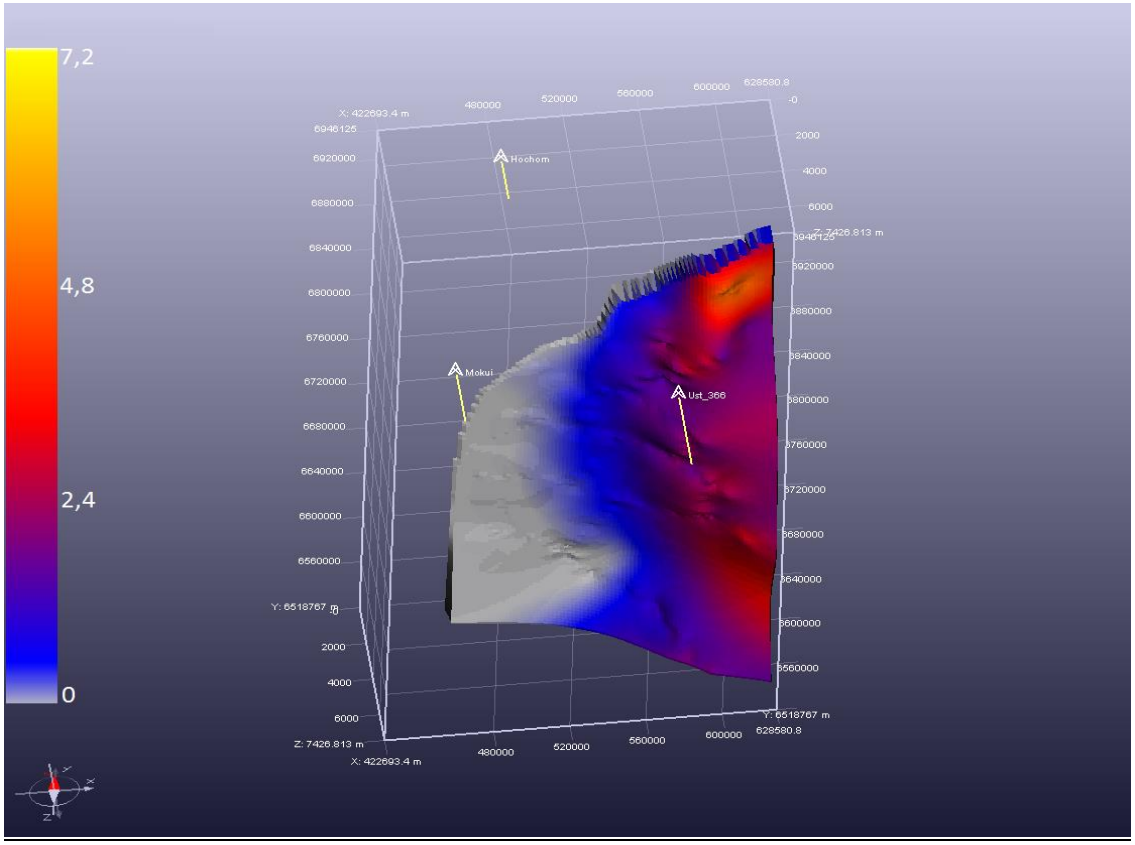


Рисунок 6. Модель масштабов эмиграции нефти из малгинской свиты, (млн т/км^2)

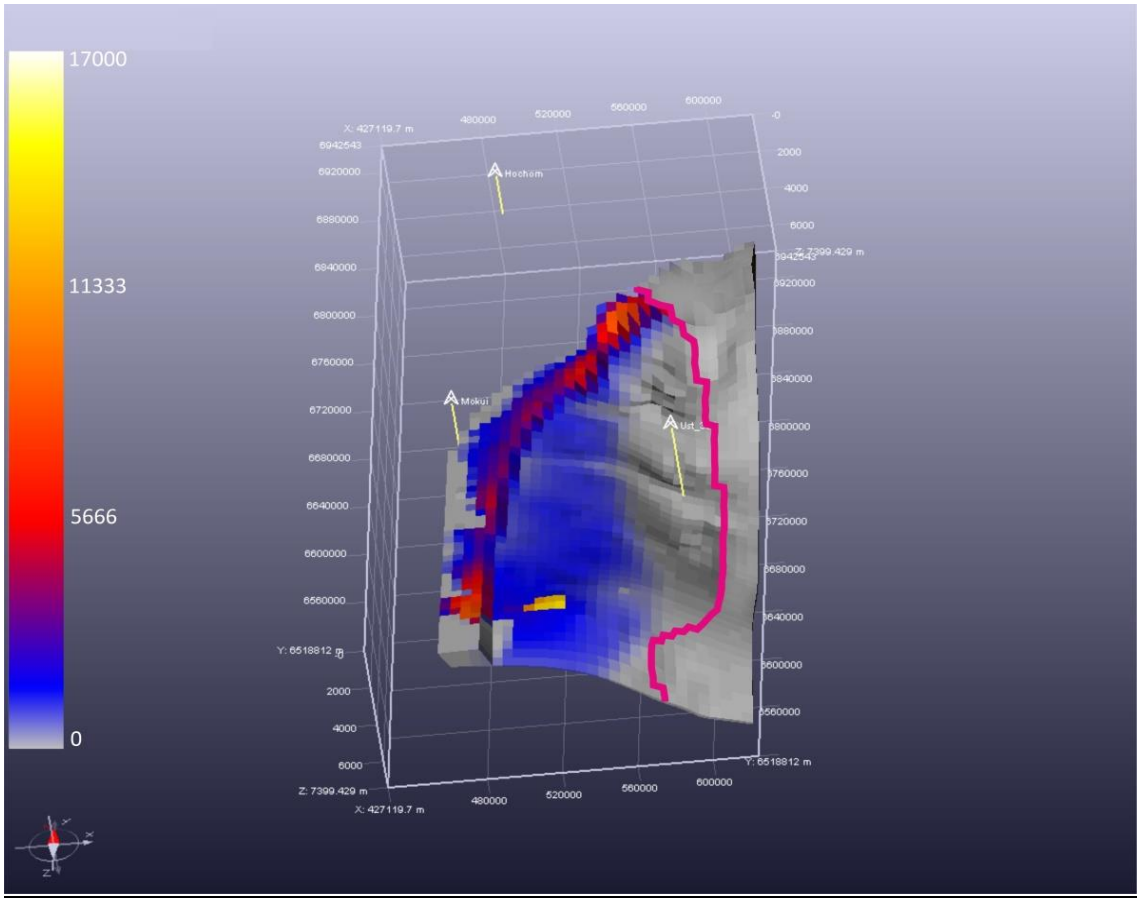


Рисунок 7. Модель плотности распределения углеводородов в ципандинском коллекторе на настоящее время, (т/км^2)

<u>Четвертое защищаемое положение</u>

По перспективам нефтегазоносности в пределах Алдано-Майской впадины выделены три района: Восточный, Западный и Южный (Учурский). Наиболее перспективным на обнаружение залежей углеводородов является Восточный район. Геологические ресурсы нефти Алдано-Майской впадины определены в количестве 350 млн. т.

Алдано-Майская впадина в отношении нефтегазогеологического районирования относится к Алдано-Майской перспективной нефтегазоносной области Лено-Тунгусской провинции.

Последняя оценка ресурсов УВ Алдано-Майской ПНГО (имеющей площадь 169 869 км^2) была проведена в 2009 г. сотрудниками ФГУП «СНИИГиМС». НСР составили 1100 млн т.

В настоящей работе геологические ресурсы УВ впадины определены в количестве 350 млн. т., при площади области применения метода численного моделирования – 78 400 км^2.

На основе результатов бассейнового моделирования и данных по распространению средне- и верхнерифейских толщ под предвендской эрозионной поверхностью была построена карта плотности ресурсов УВ (Рисунок 8).

По перспективам нефтегазоносности выделяется 3 основных района.

Восточный район с запада ограничен зоной срезания пачки черных битуминозных известняков вблизи кровли малгинской свиты предвендской эрозионной поверхностью, с востока – Нелькано-Кыллахской зоной надвигов. Он разделяется на 3 подрайона.

<u>Первый</u> – подрайон наибольших плотностей УВ, площадью 14 тыс. км^2, связан с зоной срезания среднерифейских ципандинского и нерюенского коллекторов предвендской эрозионной поверхностью, где в подверженных выщелачиванию и карстованию карбонатах располагается каверново-трещинный тип коллектора; высокие значения плотности УВ на юге подрайона приурочены к выделенной Даланской структуре. Плотность ресурсов определена здесь в интервале от 10-20 тыс.т/км^2.

<u>Второй</u> подрайон, площадью 12,5 тыс. км^2, связан, в первую очередь, с зоной срезания кандыкского коллекторского горизонта, а также структурно приподнятыми участками нерюенского и ципандинского коллекторов. Плотность ресурсов – 5-10 тыс.т/км^2.

<u>Третий</u> подрайон представляет собой узкую полосу приразломных складок у Нелькано-Кыллахской зоны надвигов площадью 8 тыс. км^2. Из-за невозможности учета (ограничение программного продукта TemisFlow при создании 3Д-моделей) тектонически-экранированных ловушек в зоне сочленения впадины с Верхояно-Колымской складчатой системой плотность ресурсов УВ в третьем подрайоне оценивается не более чем 1-5 тыс.т/км^2.

В целом НСР УВ Восточного района оцениваются в 350 млн т.

Западный район занимает площадь 35 тыс. км^2. Единственные перспективы обнаружения залежей УВ могли быть связаны только с среднерифейскими тоттинскими песчаниками. Однако

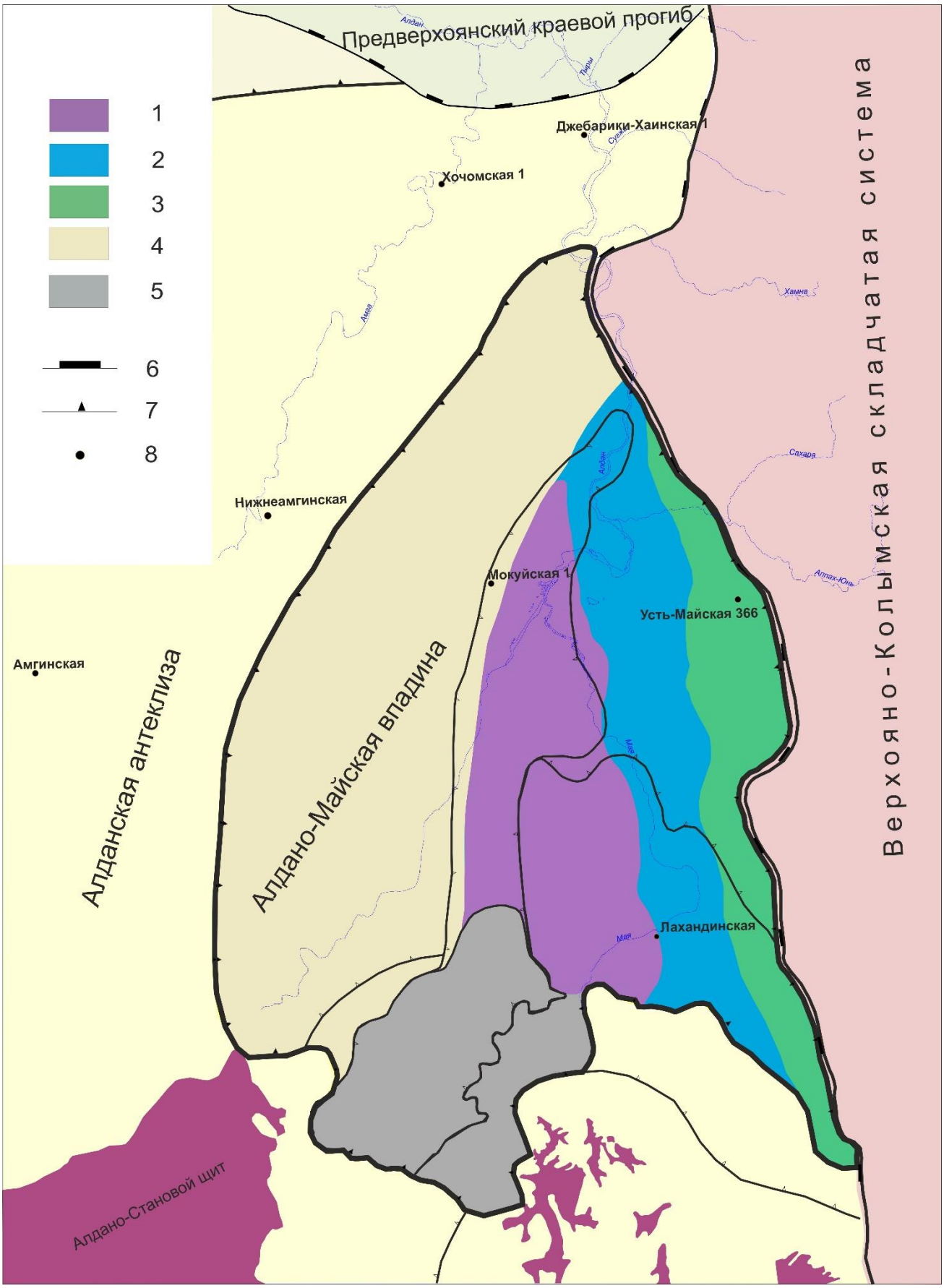


Рисунок 8. Карта плотности ресурсов УВ Алдано-Майской впадины

Условные обозначения: плотность ресурсов: 1 – 10-20 тыс.т/км^2; 2 – 5-10 тыс.т/км^2; 3 – 1-5 тыс.т/км^2; 4 – менее 1 тыс.т/км^2; 5 – слабоизученный район; границы структур: 6 – надпорядковых; 7 – I порядка; 8 – скважины.

проведенное моделирование не позволяет рассматривать тоттинский коллектор как нефтеперспективный. Исходя из этого, плотность ресурсов УВ подавляющей площади района оценивается менее 1 тыс.т/км^2.

Южный (Учурский) район площадью 10 тыс. км^2 занимает территорию одноименного прогиба в южной части впадины. Учурский прогиб практически не изучен в нефтегазоносном отношении, и оценка его нефтегазового потенциала является важной задачей возможных в будущем геологоразведочных и нефтегазопоисковых работ.

Таким образом, наиболее перспективным в нефтегазоносном отношении является Восточный район исследуемой территории. При последующем изучении в рифейских отложениях могут быть выделены ЗВНГН.

Несмотря на невысокий уровень геолого-геофизической изученности исследуемого региона (плотность сейсмических наблюдений менее 0,1 км/км^2, в пределах впадины пробурено всего 3 скважины), проделанная работа позволила не только уточнить представления о тектоническом строении и истории геологического развития впадины и ее обрамления, но и оценить потенциальные ресурсы УВ с привлечением метода численного бассейнового моделирования.

Заключение

Алдано-Майская впадина, расположенная на юго-восточной окраине Сибирской платформы, является перспективной территорией Восточной Сибири и Дальнего Востока на поиски месторождений углеводородов. Впадина практически полностью попадает в контуры Предверхояно-Майской зоны, одной из четырнадцати первоочередных нефтегазоперспективных зон, выделенных Федеральным агентством по недропользованию в 2013 году на территории России. В этой связи крайне важным было научное обоснование постановки здесь нефтегазопоисковых работ.

Проведенные в ходе диссертационной работы исследования были посвящены изучению геологического строения и эволюции развития Алдано-Майской впадины и ее восточного складчатого обрамления с последующей количественной оценкой перспектив ее нефтегазоносности. В качестве основного метода оценки использовано компьютерное бассейновое моделирование.

Для выполнения поставленной цели автором на основе новейших сейсморазведочных данных и результатах бурения было уточнено строение осадочного выполнения и современной структуры Алдано-Майской впадины, построена ее сейсмогеологическая модель, а также определены основные этапы в истории геологического развития впадины и ее восточного складчатого обрамления, в ретроспективе представлявших единый бассейн осадконакопления.

В результате последовательного решения задач были получены следующие результаты:

1. Территория Алдано-Майской впадины и смежной складчатой зоны Верхояно-Колымской системы характеризуется отчетливым полициклическим развитием. Самый ранний этап ее истории связан с раннепротерозойско-раннерифейским(?) рифтогенезом – образованием грабенообразных прогибов. Последующая рифейская история региона была определена особенностью эволюции перикратона – областью перехода кратона в интенсивно развивающиеся (миогеосинклинальные) прогибы пассивной континентальной окраины.

2. Главный генератор УВ Алдано-Майского осадочного бассейна – битуминозные известняки верхней части среднерифейской малгинской свиты. Общее количество УВ, эмигрировавших из рифейских нефтегазоматеринских НГМГ определено в 78 млрд. т, из них более 60 млрд. т приходятся на малгинский.

3. Перспективы обнаружения скоплений УВ связаны, в первую очередь, с характером распространения средне- и верхнерифейских карбонатных горизонтов под предвендской эрозионной поверхностью, где располагается кавернозно-трещинный тип коллектора.

4. Подтверждены перспективы Даланской структуры. Общее количество УВ в выделенных коллекторах (среднерифейский ципандинский и верхнерифейские нерюенский и кандыкский) на основе технологии бассейнового моделирования оценено в 350 млн. т.

5. Построена карта плотности ресурсов УВ Алдано-Майской впадины. По перспективам нефтегазоносности выделено 3 основных района.

Решенные в диссертации задачи могут быть использованы в производственном процессе при поиске и разведке залежей УВ в Алдано-Майской впадине.

Публикации автора по теме исследования

1. Уточнение геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности Юдомо-Майского региона // Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России. Сборник статей научно-практической конференции. 17-21 июня 2013 г., Санкт-Петербург. – СПб.: ФГУП «ВНИГРИ», 2013. – 492 с.: ил.

2. Особенности геологического строения и нефтегазоносности Алдано-Майской впадины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. –Т.8. №3. – 12 с. http://www.ngtp.ru/rub/4/34_2013.pdf

3. Особенности распространения рифейских отложений и перспективы нефтегазоносности Алдано-Майской впадины // Актуальные проблемы нефтегазовой геологии XXI века. Сборник докладов III Международной конференции молодых ученых и специалистов. 28 октября-1 ноября 2013 г. Санкт-Петербург.

4. Строение Предсеттедабанской окраины Сибирской платформы // Проблемы воспроизводства запасовнефти и газа в современных условиях: сб. науч. статей, посвященный 85-летию ВНИГРИ. - СПб.: ФГУП «ВНИГРИ», 2014. – 392 с. – (Труды ВНИГРИ) (соавторы Л.С.Маргулис, Б.Д. Ковнир, С.В. Сереженков).

5. Основные черты строения Алдано-Майской впадины // EAGE Геомодель-2014. Сборник тезисов докладов 16-й научно-практической конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа. 8-11 сентября 2014 г. Геленджик (соавтор Л.С. Маргулис).

6. Строение юго-восточного перикратонного погружения Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. –Т.10, №1. 20 с. http://www.ngtp.ru/rub/4/11_2015.pdf (соавторы Л.С. Маргулис, Б.Д. Ковнир, С.В. Сереженков).

7. Строение Предсеттедабанского погружения Сибирской платформы // Проблемы нефтегазовой геологии и геофизики. Сборник докладов 5-й международной научно-практической конференции ЕАГО (Евро-Азиатское геофизическое общество) «ГеоКрым-2015». 18-22 мая 2015 г., Алушта: ЕАГО, 2015. – 331 с.

8. Особенности строения Предсеттедабанской окраины Сибирской платформы // Трофимуковские чтения – 2015. Материалы Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых / Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука. - Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015. 290 с.

9. Оценка перспектив нефтегазоносности Алдано-Майской впадины на основе методов бассейнового моделирования // EAGE Санкт-Петербург 2016. Через интеграцию геонаук к постижению гармонии недр. Сборник тезисов докладов Международной геолого-геофизической конференции и выставки. 11-14 апреля 2016 г. Санкт-Петербург.

10. Оценка нефтегазового потенциала Алдано-Майской впадины на основе бассейнового моделирования // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. Том I / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 877 с.

11. Оценка углеводородного потенциала Алдано-Майской впадины на основе технологии бассейнового моделирования // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2017. – №7. С. 33-40.