

Влияние новейшей геодинамики на газоносность Иркиннеево-Чадобецкого рифтогенного прогиба

Л.А. Сим

д.г.-м.н., в.н.с.¹
sim@ifz.ru

А.В. Постников

д.г.-м.н., проф., зав. каф. литологии²
apostnikov@mtu-net.ru

О.В. Постникова

д.г.-м.н., проф., зав. лабораторией проблем нефтегазоносности Восточной Сибири²
olgapostnikova@yandex.ru

В.В. Пошибаев

к.г.-м.н., инженер²
poshibaev@yandex.ru

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

²РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, Россия

Район исследований расположен в пределах Иркиннеево-Чадобецкого рифтогенного прогиба (ИЧРП) на западе Сибирской платформы, в пределах которого в позднедокембрийских отложениях тасеевской серии открыты залежи газа и газоконденсата. Продуктивность отложений тасеевской серии в пределах крупных антиклинальных поднятий в значительной степени контролируется фаціальными условиями распределения пород-коллекторов, интенсивностью и направленностью их вторичных изменений, и главным образом проявлением трещиноватости. Прогноз зон распространения трещин основывался на реконструкции разломно-блоковой структуры ИЧРП. Выделенные в процессе анализа разломно-блоковой структуры линеаменты были проанализированы с позиций новейшей геодинамической обстановки территории. Применение структурно-геоморфологического метода позволило выделить области со сдвиговыми неотектоническими напряжениями,

Введение

В последнее время на юге Сибирской платформы в пределах Иркиннеево-Чадобецкого рифтогенного прогиба (ИЧРП) в отложениях рифея-венда были получены крупные промышленные притоки газа и открыты такие крупные газовые и газоконденсатные месторождения как Абаканское, Восточно-Имбинское, Берямбинское, Ильбокичское.

Продуктивность позднедокембрийских отложений в пределах крупных антиклинальных поднятий в значительной степени контролируется литологическим фактором. Существенную роль в фильтрационно-емкостной системе продуктивных отложений играют тектонические трещины. Это обстоятельство приводит к тому, что продуктивность скважин резко различна. В этой связи для определения зон повышенной продуктивности рифей-вендских отложений весьма актуальным представляется проведение детальных литологических, палеогеографических, тектонических и геодинамических реконструкций,

которые позволят повысить эффективность освоения запасов углеводородов ИЧРП.

Целью исследований явилось прогнозирование зон повышенной продуктивности позднедокембрийских отложений на основе анализа результатов комплексных литологических и тектонофизических исследований.

Общие сведения о геологическом строении

ИЧРП представляет собой линейную зону, разделяющую крупные литосферные блоки — Камовский свод на севере, Богучано-Манзинский на юге и Непско-Ботуобинский антеклизой на востоке (рис. 1) [1–3].

В восточной части прогиба выделяется крупное Чадобецкое куполовидное поднятие размерами 45×35 км [4]. В тектоническом плане Чадобецкое поднятие является узловой зоной пересечения двух рифтогенных структур, объединяемой некоторыми исследователями в Ангаро-Котуйский рифтогенный прогиб [5].

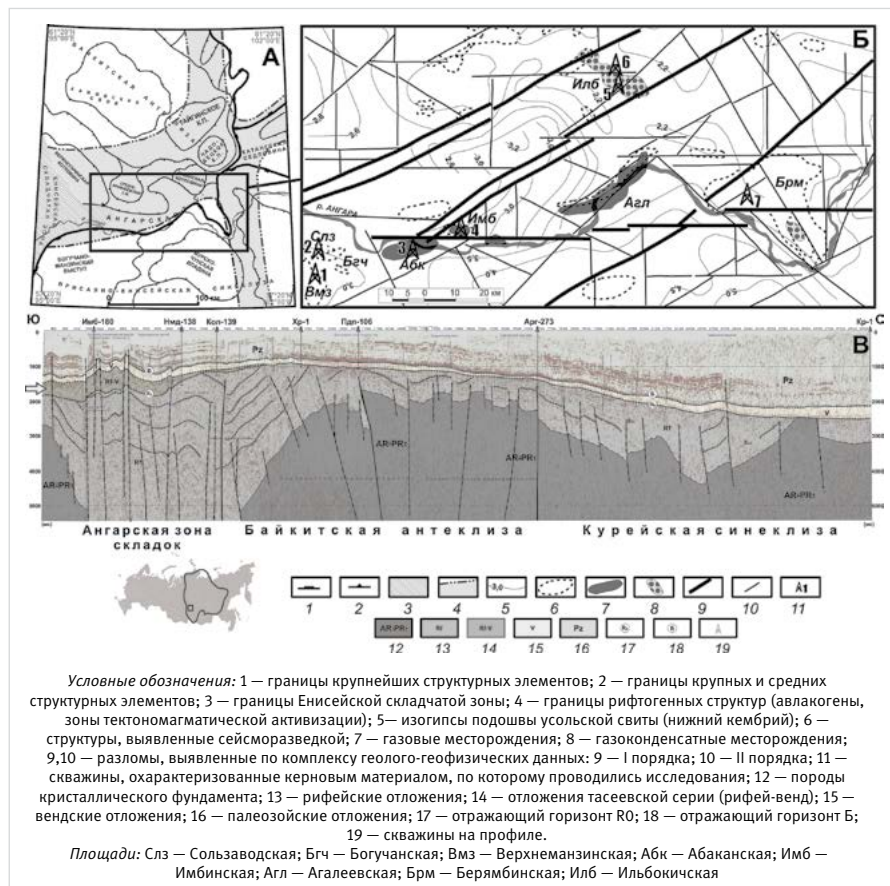


Рис. 1 — Тектоническое строение исследуемого региона. А — Фрагмент тектонической карты венд-нижнепалеозойского структурного яруса Лено-Тунгусской провинции Сибирской платформы; Б — Схема расположения основных разрывных нарушений и локальных структур в пределах Иркиннеево-Чадобецкого рифтогенного прогиба; на основе [1]; [2] с дополнениями авторов; В — Строение Иркиннеево-Чадобецкого прогиба (Ангарской зоны складок в современном тектоническом плане) на опорном профиле «Алтай-Северная Земля» [3].

характеризующимися главными нормальными максимальными и минимальными сжимающими напряжениями (осями «сжатия» и «растяжения»), ориентированными ортогонально в горизонтальной плоскости. Было установлено, что зоны «растяжения» соответствуют интервалам максимальной проницаемости нефтегазоносных интервалов осадочного чехла.

Материалы и методы

Данные ГИС (50 скважин). 1200 м kernового материала, около 1500 петрографических шлифов. Результаты петрофизических исследований. Цифровые композитные снимки, карта цифровой модели рельефа, данные сейсмо-, грави- и магниторазведки. Материалы по геолого-промышленным данным, в т.ч. результаты опробований в скважинах. Методы: литологические, прогноз трещиноватости на основе реконструкции разломно-блоковой структуры, тектонофизические (структурно-геоморфологический метод).

Ключевые слова

Иркинеево-Чадобецкий прогиб, Ангарская зона складок, Сибирская платформа, коллекторы нефти и газа, новейшая геодинамика, трещиноватость

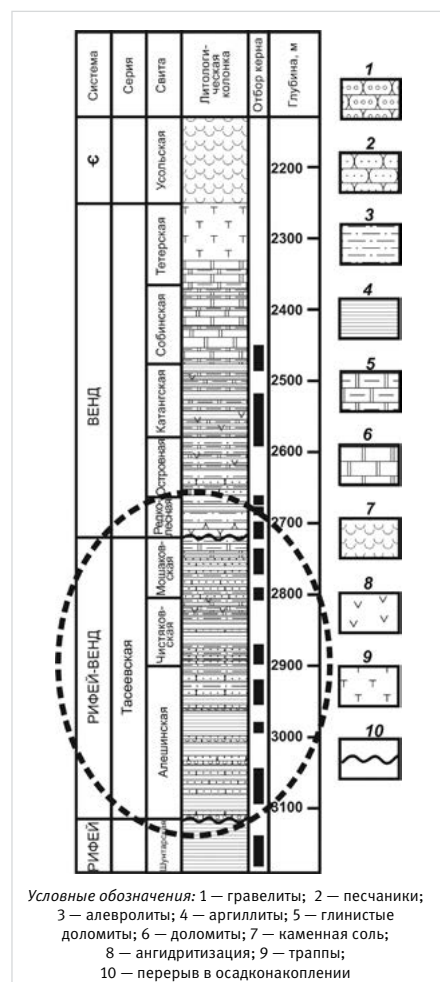


Рис. 2 — Литологическая колонка (по скважине Абаканская №1)

В современном структурном плане в пределах ИЧРП выделяется зона Ангарских складок, для которой характерны высокоамплитудные инверсионные складчатые антиклинальные поднятия. Эта зона протягивается в субширотном направлении, имеет сложную конфигурацию. Наиболее значимыми ее структурными элементами являются Иркинеевский структурный мыс, Имбинская антиклиналь, Кординский вал, Ильбокичское куполовидное поднятие, Берябинское куполовидное поднятие [6].

В стратиграфическом отношении осадочный чехол представлен отложениями рифея, венда, кембрия, ордовика, силура, девона и карбона (рис. 2). Породы фундамента архей-протерозойского возраста вскрыты скважинами глубокого бурения в пределах Камовского свода Байkitской антеклизы и Богучано-Манзинского выступа Присаяно-Енисейской антеклизы.

Методика исследований

В пределах ИЧРП использован комплекс литологических и тектонофизических методов исследования.

Литологические методы включали: первичное седиментологическое описание керны, изучение пород в стандартных и покрашенных петрографических шлифах, стереомикроскопию, растровую электронную микроскопию, энергодисперсионный рентгеноспектральный микроанализ, а также изучение трещиноватости на нераспиленном и распиленном керне с определением параметров и генерации трещин с описанием характера их минерализации.

Методы прогноза трещиноватости. Прогноз зон развития трещиноватости основывался на результатах реконструкции разломно-блоковой структуры ИЧРП. Выделение разломно-блоковых структур проводилось на основе интерпретации материалов сейсмо-, грави- и магниторазведки в комплексе с топо- и космодешифрированием. Для выделенных относительно однородных блоковых и концентрических структур современного тектонического плана прослежена связь с поверхностными и погруженными структурами осадочного чехла.

Тектонофизические и структурно-геоморфологические методы.

Анализ новейшей геодинамики проводился с помощью структурно-геоморфологического (СГ) метода реконструкции сдвиговых неотектонических напряжений [7]. Доминирование сдвиговых перемещений по разломам платформ убедительно показано по результатам анализа данных сейсмики 3D [8]. Применение СГ метода начинается с дешифрирования мелких прямолинейных элементов рельефа, названных мегатрещинами, вблизи крупного линеамента — предполагаемого разлома. Взаимные ориентировки оперяющих разрывов в зоне сдвига и их ориентация по отношению к основному разлому были обобщены М.В. Гзовским [9]. Триада мегатрещин, отдешифрированная вблизи линеамента дает возможность: 1) реконструировать ориентировки осей «сжатия» и «растяжения» в горизонтальной плоскости; 2) определять направление сдвигового перемещения по разлому (правый или левый сдвиг); 3) оценивать относительный уровень сжатия нормального к сдвиговому разлому

(угол оси с простираем разлома, меньший 45°, отвечает обстановке дополнительного растяжения, а больший 45° — дополнительного сжатия).

Результаты исследований

Характеристика пород-коллекторов и закономерности их распространения. Основная промышленная газоносность в пределах ИЧРП связана с отложениями тасеевской серии (верхний рифей — нижний венд).

В работе было установлено, что закономерности распределения пород-коллекторов отложений тасеевской серии определяются фациально-палеогеографическими условиями формирования продуктивных отложений, интенсивностью и направленностью вторичных изменений, в том числе трещиноватостью.

Отложения тасеевской серии представлены комплексом пестроцветных терригенных отложений мощностью до 1300–1500 м.

Породы-коллекторы отложений тасеевской серии относятся к поровому и порово-трещинному типам.

Значения коэффициента пористости в гравийно-песчаных отложениях тасеевской серии колеблются от 2–3% до 17–19%, проницаемости по газу от 0,001–0,002 мД до 1,1–1,2 мД — для порового коллектора, и от 0,1–0,2 мД до 110–140 тыс мД — для порово-трещинного коллектора. Исследования структуры пустотного пространства в покрашенных шлифах позволили установить, что пустотное пространство занимает от 0,5–1% вплоть до 25–30% от объема пород.

Отложения тасеевской серии сформировались преимущественно в различных зонах аллювиальных и аллювиально-дельтовых равнин. Фациальная природа пород-коллекторов тасеевского природного резервуара обуславливает высокую степень их латеральной и вертикальной изменчивости. Для этого резервуара характерно линзообразное строение, определяемое чередованием высокочемких песчано-гравийных отложений временных потоков и глинистых отложений пойменной равнины.

Следует отметить, что распределение поровых пород-коллекторов во многом корректируется интенсивностью и направленностью вторичных изменений.

В отложениях тасеевской серии были выявлены многочисленные системы субвертикальных трещин с разной степенью раскрытости. Раскрытость трещин составляет от долей до нескольких мм.

Субвертикальные тектонические трещины сопровождаются ортогональными к ним горизонтальными. Протяженность субвертикальных трещин в керне в пределах Абаканской площади составляет более 350 м (рис. 3). Конфигурация субвертикальных трещин и морфология их поверхности свидетельствуют об их формировании в условиях растяжения с элементами сдвиговых деформаций.

Кроме того, в разрезах наблюдаются наклонные трещины, расположенные под углом к оси керны. По всему разрезу отложений тасеевской серии прослеживается сеть мелких многочисленных хаотически ориентированных затухающих трещин. В юго-западной части исследуемой территории в отложениях тасеевской серии были встречены тектонические брекчии.

По стенкам трещин в отдельных участках отмечается интенсивная минерализация. В терригенных и глинистых красноцветных отложениях по стенкам трещин встречаются следы оглеения в виде голубовато-зеленоватых пятен округлой формы, что, вероятно, может свидетельствовать о миграции по этим трещинам углеводородных флюидов.

В отложениях тасеевской серии зафиксированы зеркала скольжения, на их плоскостях отмечаются деформированные процессами сдвига кристаллы анкерита, что свидетельствует о более поздних, чем трещинообразование, активных тектонических процессах.

Тектонические трещины часто взаимопересекаются, что указывает на одновременность их образования. Часть из них имеет извилистый характер.

В отложения тасеевской серии наблюдаются горизонтальные сдвиги слоев толщиной 1–2 см.

Прогноз зон трещиноватости в пределах ИЧРП основывался на реконструкции разломно-блоковой структуры исследуемого

региона. Закартированы 4 взаимно-ортogonalные системы линеаментов, приуроченных к зонам высоких градиентов и смены знака аномалий гравитационного и магнитного полей, что указывает на их глубинное заложение и связь с раннедокембрийскими тектоническими элементами кристаллического фундамента, а также с трапповыми телами. Выделенные зоны могут рассматриваться как зоны развития коллекторов трещинного типа в целом и трещинных коллекторов с определенной ориентировкой систем трещин.

Наложение построенных схем линеаментов позволило построить карты, на которых выделены участки развития максимальной трещиноватости. Однако не всегда выявленные зоны объясняли, почему на площадях со сходными характеристиками трещиноватости различные значения дебитов скважин.

Поэтому выделенные в процессе анализа разломно-блоковой структуры линеаменты были проанализированы с позиций новейшей геодинамической обстановки территории с помощью

структурно-геоморфологического метода реконструкции сдвиговых неотектонических напряжений.

Новейшая разломная тектоника и геодинамика Иркинеево-Чадобецкого прогиба

В пределах ИЧРП выделяются разломы ЮЗ-СВ простираения, широтные разломы, разломы СЗ и ЗСЗ простираения, меридиональные разломы. Геодинамическая обстановка их формирования и кинематические типы показаны на рис. 4.

Реконструкция неотектонических напряжений ИЧРП дает основание считать, что в исследуемом районе доминирует меридиональное сжатие, отклоняющееся на северо-северо-восток и широтное растяжение.

Смещения разломов друг относительно друга, протяженность и количество мегатрещин в зонах их динамического влияния позволяет сделать вывод о преимущественной активности разломов ЮЗ-СВ и широтного простираения. В таком поле напряжений из всех типов разломов наиболее проницаемыми являются меридиональные разломы.

На схеме новейшей геодинамики Иркинеево-Чадобецкого прогиба выделены сектора локального сжатия и растяжения на местах пересечения разнонаправленных сдвигов. Выделено восемь наиболее проницаемых секторов (участков). Общим свойством этих участков является пересечение диагональных разломов с наиболее проницаемыми меридиональными разломами или с диагональным разломом, формирующимся в обстановке растяжения.

Пачки коллекторов в отложениях тасеевской серии представлены преимущественно терригенными отложениями и соединяются между собой системой субвертикальных протяженных частично минерализованных субвертикальных трещин. Протяженность таких трещин весьма значительная и может составлять более 300–350 м.

Анализ литологических, петрофизических и геолого-промысловых данных свидетельствует о преимущественном развитии поровотрещинного типов коллектора.

Проведенные исследования новейшей геодинамики ИЧРП позволили сделать предположение о тесной взаимосвязи газонасыщенности осадочного чехла с выделенными зонами современного «растяжения». Так, наиболее продуктивные в газонасыщенности Абаканское и Ильбокичское месторождения территориально расположены в пределах зон современного геодинамического растяжения.

Две высокодебитные скважины Абаканского месторождения (дебиты газа более 1 млн м³/сутки) расположены в зоне геодинамического «растяжения», образованной при пересечении граничного разлома северо-западного простираения с широтным и северо-восточных разломами. Третья низкодебитная скважина расположена в зоне сжатия. Скважины расположены в 3–5 км друг от друга (рис. 5). Во всех трех скважинах отмечаются схожие особенности геологического строения, породы-коллекторы характеризуются близкими значениями фильтрационно-емкостных свойств.

В пределах Ильбокичского месторождения были получены крупные промышленные притоки газового конденсата. Особенностью геодинамической характеристики

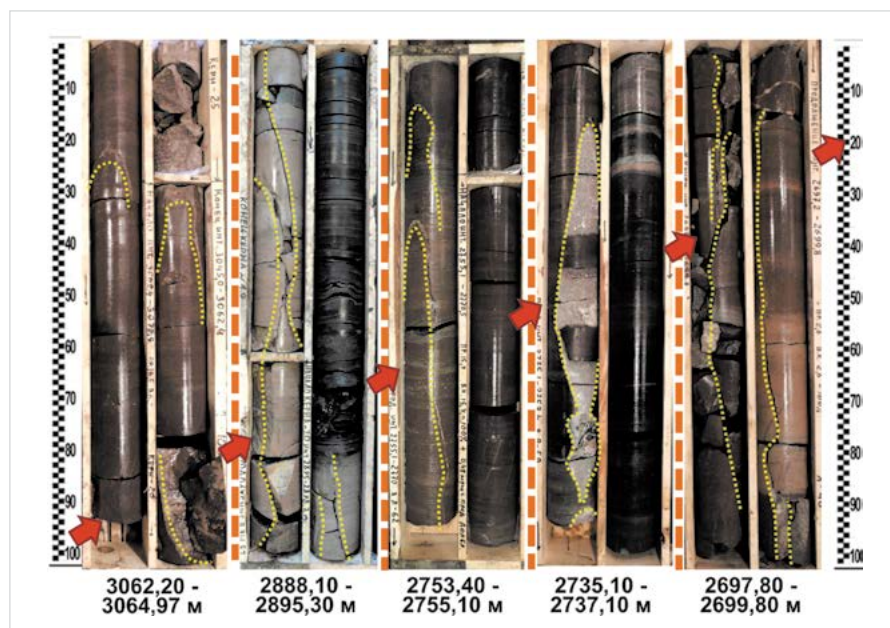


Рис. 3 — Система субвертикальных частично минерализованных раскрытых трещин протяженностью более 350 м в скважине Абаканская №1

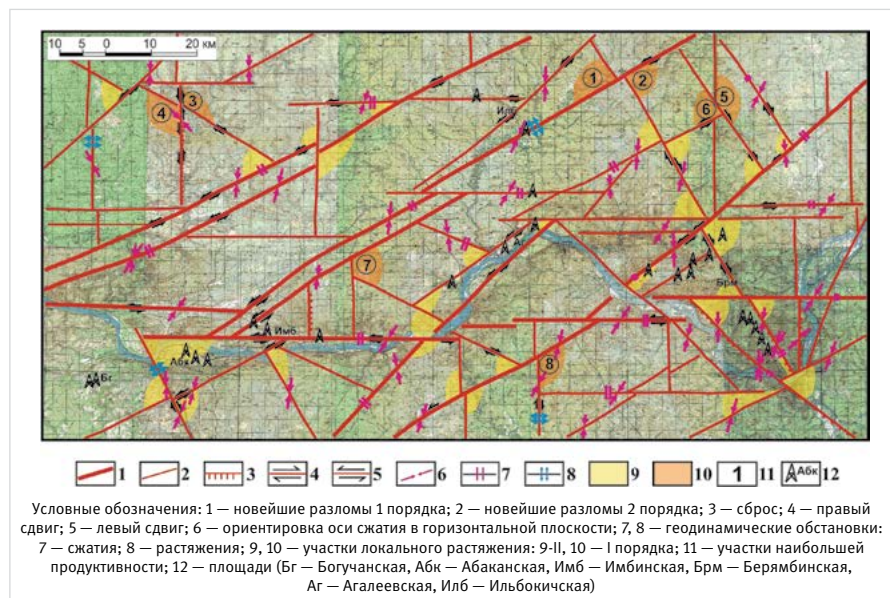


Рис. 4 — Прогнозная схема зон повышенной продуктивности в пределах ИЧРП

- Красноярского края. 1999. С. 31–42.
3. Отчет северной г/л №2/199-2004 гг. Отв. Исполнитель А.А. Евграфов, Енисейск, 2003 г. РосГеолФонды, Гос. рег. №85-99-13/1.
4. Лапин А.В., Пятенко И.К. Чадобецкий комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов: новые данные о составе, строении и условиях формирования // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1992. № 6. С. 88–101.
5. Старосельцев В.С. Проблема выделения

- рифтогенных прогибов - перспективных тектонических элементов активного нефтегазообразования // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4. С. 475–483.
6. Носкова Е.С. Структурно-тектонические критерии нефтегазоносности Нижнеангарского самостоятельного нефтегазоносного района. Автореферат дис. на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук, специальность 25.00.12 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений. М., 2015.

7. Сим Л.А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1991. № 10. С. 3–22.
8. Гогоненков Г.Н., Лаврик А.С., Эльманович С.С. Зарождающиеся горизонтальные сдвиги в тектонике северной части Западной Сибири // Геофизика. 2002. №5. С. 54–61.
9. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.

ENGLISH

GEOLOGY

Influence of recent geodynamics to gas productivity of Irkinevo-Chadobets riftogenic trough

UDC 551.24+553.981

Authors:

Lidia A. Sim — Ph.D., leading researcher¹; sim@ifz.ru

Alexander V. Postnikov — Ph.D., professor, head of lithology department²; apostnikov@mtu-net.ru

Olga V. Postnikova — Ph.D., head of laboratory²; olgapostnikova@yandex.ru

Vladimir V. Poshibaev — Ph.D., engineer²; poshibaev@yandex.ru

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russian Federation

²Gubkin Russian State University of oil and gas, Moscow, Russian Federation

Abstract

The area of research is located within the Irkinevo-Chadobets riftogenic trough (IchRT) in the west of the Siberian Platform. Here deposits of gas and gas condensate were discovered in the Neoproterozoic sediments of Taseeva group. Productivity of these deposits within large anticlinal structures largely controlled by facies distribution of reservoir rocks, intensity and direction of secondary processes, mainly fracturing. Prediction of fracturing based on the reconstruction of the fault-block structure of the IchRT. Identified lineaments were analyzed from the position of modern geodynamic. Application of structural and geomorphological method allowed to identify areas of modern geodynamic compression and tension. It was found that "tension" zones correspond to intervals of maximum gas permeability.

Materials and methods

GIS data (50 wells). 1,200 meters of core

material, about 1,500 petrographic thin sections. The results of petrophysical studies. Digital composite images, digital model map of relief, seismic data, gravimetric and magnetic maps, production data. Methods: lithological, methods of fracture prediction based on reconstruction of fault-block structure, tectonophysical (structural and geomorphological methods).

Results

Studies of modern geodynamics of the IchRT led to the assumption of the close relationship between gas-productivity and areas of modern geodynamic "stretching". The obtained regularities also are proven in study of lithological features of productive deposits. It was found that the grits and sandstones in the areas of modern geodynamic compression much more intensively sealed, between the grains marked conformal, regeneration, incorporational and microstylolite contacts.

Conclusions

The carried out complex research of natural reservoirs of the IchRT allow expect to the close relationship between modern geodynamic processes and gas-bearing of sedimentary cover. Based on these views, it must be assumed that the most prospective gas-bearing zones are associated with modern geodynamic tensions zones generated as a result of divergent shear deformations. Based on the results of complex lithology, cosmo-geological and geodynamic studies within the IchRT it was found eight zones of porous-fractured and fractured reservoirs located in areas of modern geodynamic tension, most perspective for geological exploration to identify gas fields.

Keywords

Irkinevo-Chadobets riftogenic trough, Angara folds zone, Siberian platform, oil and gas reservoirs, neodynamics, fracturing

References

- Kontorovich A.E., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.A. and other. *Tektonicheskaya karta vend-nizhnepaleozoyskogo strukturnogo yarusy Leno-Tungussskoy provintsii Sibirskoy platformy* [Tectonic map of the Vendian-Lower Paleozoic structural stage of the Lena-Tunguska petroleum province, Siberian Platform] Russian Geology and Geophysics, 2009, Vol. 50, issue 8. pp. 851–862.
- Dashkevich N.N. *Regional'nyy prognoz kimberlitovogo magmatizma v yugo-zapadnoy chasti Sibirskoy platformy* [Regional forecast kimberlite magmatism in the southwestern part of the Siberian Platform]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Krasnoyarskogo kraya*, 1999, pp. 31–42.
- Yevgrafov A.A. Report of north expedition №2/199-2004. Yeniseysk, 2003. RosGeolFondy, Gos. reg. №85-99-13/1.
- Lapin A.V., Pyatenko I.K. *Chadobetskiy kompleks ul'traosnovnykh shchelochnykh porod i karbonatitov: novye dannye o sostave, stroenii i usloviyakh formirovaniya* [Chadobetsky set of alkaline ultrabasic rocks and carbonatites, new data on the composition, structure and conditions of formation]. Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Geology Series, 1992, issue 6, pp. 88–101.
- Starosel'tsev V.S. *Problema vydeleniya riftogennykh progibov - perspektivnykh tektonicheskikh elementov aktivnogo neftegazoobrazovaniya* [Identifying paleorifts as promising tectonic elements for active oil and gas generation]. Russian Geology and Geophysics, 2009, Vol. 50, issue 4, pp. 475–483.
- Noskova E.S. *Strukturno-tektonicheskie kriterii neftegazonosnosti Nizhneangarskogo samostoyatel'nogo neftegazonosnogo rayona* [Structural and tectonic criteria of petroleum Nizhneangarsk independent oil and gas area]. Abstract of the PhD thesis, Moscow, 2015.
- Sim L.A. *Izuchenie tektonicheskikh napryazheniy po geologicheskim indikatoram (metody, rezul'taty, rekomendatsii)* [The study of tectonic stresses on geological indicators (methods, results, recommendations)]. *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka*, 1991, issue 10, pp. 3–22.
- Gogonenkov G.N., Lavrik A.S., El'manovich S.S. *Zarozhdayushchiesya gorizonta'nye sdvigi v tektonike severnoy chasti Zapadnoy Sibiri* [Emerging horizontal shifts in the tectonics of the northern part of Western Siberia]. The Russian geophysics journal, 2002, issue 5, pp. 54–61.
- Gzovskiy M.V. *Osnovy tektonofiziki* [Basics of tectonophysics]. Moscow: Nauka, 1975, 535 p.