

ТЕКТОНИКА И ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.24:553.98(510)

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ БАСЕЙНА ОРДОС
(Центральный Китай)

Ли Жунси, Ли Ючжу

Chang an University, 126 Yanta Road, Xian, 710054, China

Западная половина Ордосского бассейна, являющаяся предметом исследования, располагается на севере Центрального Китая, на западной окраине Северо-Китайской платформы, контактируя на юго-западе и юге с Циляньюнской и Циньлинской складчатными системами. Их фронтальный северо-восточный фас надвинут на палеозойский чехол Ордоса и представлен серией параллельных крупных линейных складок, разделенных надвигами. Фундамент бассейна Ордос представлен метаморфическими деформированными отложениями, возраст которых предполагается позднепротерозойским. Карбонатные и терригенные интракратонные фации накапливались на Ордосском блоке с раннего кембрия до среднего ордовика включительно. Со среднего ордовика до среднего карбона включительно западный край блока был приподнят в виде суши и подвергался денудации около 150 млн лет. В позднем палеозое отложились угленосные формации. Собственно Ордосский бассейн заполнялся флювиально-озерными дельтовыми фациями в триасе. Надвиги и складки на юго-западном краю бассейна были сформированы в течение мезозоя и усложнялись гималайскими тектоническими движениями.

Тектоническая эволюция, нефтегазоносность, стратиграфия, Ордосский бассейн, Китай.

TECTONIC EVOLUTION OF THE WESTERN MARGIN OF THE ORDOS BASIN
(Central China)

Li Rongxi and Li Youzhu

The western half of the Ordos Basin lies in the north of Central China, on the western margin of the North Chinese Platform. In the southwest and south it borders the Qilian and Qinling folded systems. Their frontal northeastern flank is thrust over the Paleozoic nappe of the Ordos Basin and consists of a series of large parallel linear folds separated by thrusts. The basement of the basin is made up of deformed metamorphic rocks of tentatively Late Proterozoic age. Carbonate and terrigenous intracratonic facies accumulated on the Ordos block from Early Cambrian through Middle Ordovician. From Middle Ordovician through Middle Carboniferous, the western edge of the block was uplifted as a land as a result of Caledonian tectonic movement and underwent denudation for about 150 Myr. In the Late Paleozoic, a series of coal-bearing formations was deposited. In the Triassic, the Ordos Basin became filled with fluviolacustrine delta facies. Thrusts and folds on the southwestern margin of the basin formed in the Mesozoic and were intensified by Himalayan tectonic movements.

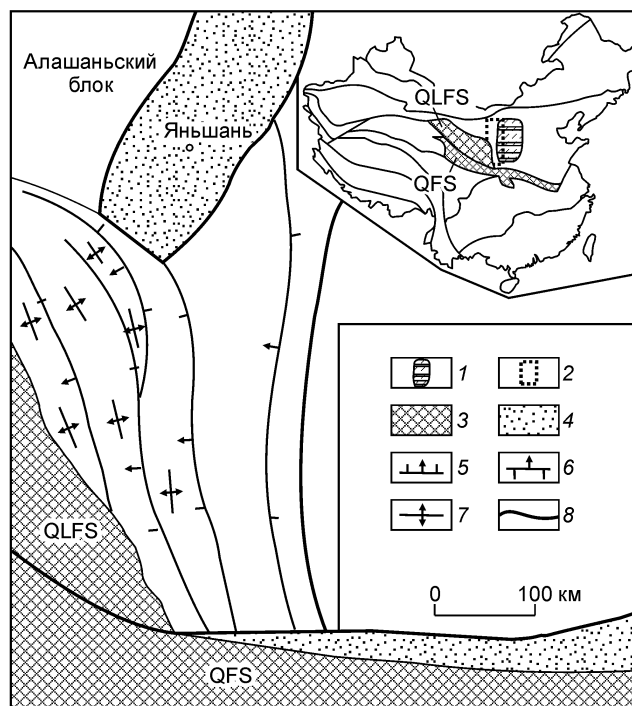
Tectonic evolution, petroleum potential, stratigraphy, Ordos Basin, China

ВВЕДЕНИЕ

Бассейн Ордос, один из крупнейших нефтегазовых бассейнов в Китае, находится в центральной части Северного Китая, на западной окраине Северо-Китайской платформы (рис. 1). Газовые месторождения в северной части бассейна являются крупнейшим источником природного газа, который транспортируется как в западные, так и в восточные районы страны. Природный газ, поставляемый для бытовых и промышленных нужд в крупные города (Пекин, Тяньцзинь, Сиань, Чжэнчжоу, Тайюань, Иньчань и др.), теперь добывается главным образом на территории данного бассейна. В бассейне открыты три нефтегазовых комплекса. 1) Яньчжанская серия верхнего триаса и яньаньская свита средней юры являются важными нефтепродуктивными пластами, в которых материнские породы представлены озерным пелитом с изотопом углерода в газах $\delta^{13}C_i$ $-46.04...-49.46$ ‰ [Feng Fukai, Zhang Yafei, 1995]. 2) Отложения каменноугольно-пермского возраста, в которых широко распространены угленосные материнские породы. Несколько небольших газовых резервуаров были обнаружены во флювиальных песчаниках шицзяньфэнской свиты верхней перми на западной окраине и в северной части Ордосского бассейна. Газ находится в угленосных каменноугольно-пермских породах и характеризуется изотопом углерода в газах

Рис. 1. Тектоническая схема западной окраины Ордовоского бассейна.

1 — Ордовосский бассейн, 2 — район исследования, 3 — складчатые системы, 4 — кайнозойские грабены, 5 — нормальные разломы, 6 — надвиги, 7 — антиклинали, 8 — разломы в фундаменте. Складчатая система: QLFS — Цилянская, QFS — Циньлинская.



$\delta^{13}\text{C}_1$ –35.3...–29.3 ‰ и $\delta^{13}\text{C}_2$ –27.4...–22.3 ‰ [Xia Xinyu, Zhao Lin, 1998]. 3) Ордовикская мало мощная кора выветривания содержит важнейшие газовые залежи в бассейне. Коллекторами являются здесь доломиты мацзягоуской свиты среднего ордовика с вторичной пористостью и перекрытые слоями пелитов. Материнскими породами принято считать ордовикские карбонаты и пермь-каменноугольные угленосные толщи [Xia Xinyu, Zhao Lin, 1998].

Исследования показывают, что образование нефти и газа происходило в основном с поздней юры до мела включительно, а их аккумуляция — в неоген-раннечетвертичный период [Dai Jinxing, 1995; Li Jingming et al., 2004].

В геодинамическом плане воздымание Тибетско-Цинхайского плато, расположенного южнее Ордовоского бассейна, и движение его к северо-востоку с образованием Цилянской и Циньлинской складчатых систем происходило в результате коллизии Индийской и Азиатско-Европейской плит, которая определила эволюционное развитие бассейна и оказала влияние на генерацию и аккумуляцию нефти и газа в нем [Li Songshen, 1985; An Zuoxiang, Ma Li, 2002].

В настоящей работе остановимся только на тектонической истории западной окраины Ордовоского бассейна.

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

Бассейн Ордос имеет сложную геологическую структуру. Западная окраина его соприкасается с Циньлинской складчатой системой на юге и Цилянской — на юго-западе. Бассейн на северо-западе отделен от Алашаньского блока кайнозойской депрессией (см. рис. 1). Серия параллельных меридиональных складок, надвигов, депрессий и поднятий находится на западном краю бассейна. Разломы фундамента или разрывы, размещающиеся по западному краю бассейна, являются крупномасштабными и прошли длительный путь развития. Западная окраина бассейна — это часть гигантской меридиональной Азиатской структурной зоны, разделяющей Западный и Восточный Китай. Такое разделение подтверждается резким изменением геофизических полей и, в первую очередь, гравитационных. Оно подчеркивается также стратиграфическими и структурными характеристиками, разными для Восточного и Западного Китая.

СТРАТИГРАФИЯ

Самым древним образованием в бассейне Ордос (рис. 2) является хэлианианьский комплекс метаморфических пород досинийского возраста мощностью более 5 тыс. м. Этот комплекс установлен во внутренней части бассейна, коррелируется с цзининским комплексом Северо-Китайской платформы и состоит из тонкополосчатых глубинных гнейсов, кварцевых сланцев и биотитовых гранулитов.

На западной окраине бассейна осадочные толщи от кембрия до среднего ордовика включительно представлены выдержанными нормально-слоистыми карбонатными отложениями, содержащими морскую фауну. Кембрийские карбонатные породы мощностью более 600 м в основном представлены зернистыми и пелитоморфно-зернистыми известняками, содержащими иловый, известкового же состава, цемент. В разрезе присутствуют тонкие прослои кремнистых сланцев. Нижнеордовикские толщи сложены зернисто-пелитоморфными с илистой примесью осадками и биогенными известняками, а также темноцветными доломитизированными зернисто-пелитоморфными известняками. Среднеордовикский комплекс детритовых отложений, кварцевых песчаников и алевролитов с прослоями сланцев и известняков рассматривается как флишевая формация. На западной окраине Ордовоского бассейна, как и на всей западной окраине Северо-Китайской платформы, отложения верхнего ордовика отсутствуют.

Эратема	Стратиграфия		Литология	Тектонические движения
	Система	Индекс		
Кайнозойская (KZ)	Четвертичная	Q		Гималайские-III
		Третичная		
	P			
Мезозойская (MZ)	Меловая	K ₁	Гималайские-I	
		Юрская	J ₂₋₃	Яньшаньские
	Триасовая	T ₃	Индо-синийские	
Палеозойская (PZ)	Пермская	P		Каледонские
		Каменно-угольная		
	C ₂			
	Ордовикская	O ₂		
O ₁				
Кембрийская	Є	Чанчжэнские		
PR-AR				

Рис. 2. Стратиграфическая колонка западной окраины Ордосского бассейна.

Пояснения в тексте.

Отсутствуют на западном краю бассейна и отложения силурийско-девонского возраста, но они широко распространены в его северной части, перекрывая здесь резко несогласно среднеордовикские слоистые толщи. Обнаженные на северной окраине бассейна силурийские породы представлены полевошпат-кварцевыми песчаниками с базальными конгломератами в основании. Девонские осадки, преимущественно флювиально-озерных фаций, состоят из красноцветных конгломератов, песчаников и алевролитов.

В среднем и позднем карбоне осадконакопление снова возвращается на западную окраину Ордосского бассейна. Образования среднего карбона представлены главным образом сероцветными известково-кварцевыми песчаниками и песчанистыми известняками с прослоями биокластического известняка и тонких угленосных горизонтов. Тайюаньская свита верхнего карбона представляет собой непрерывную стратиграфическую последовательность сероцветных кварцевых песчаников, тонкослоистых известняков и сланцев. Свита содержит несколько угленосных пластов. Пермская толща в этом районе согласно наращивает тайюаньскую свиту. В нижней перми выделяются шаньсиская и сяшихэцзиская свиты. Первая состоит главным образом из серо-желтого базального слоя песчаника и тонкослоистых алевролитов и сланцев, содержит в себе два или три угленосных пласта. Разрез второй свиты продолжает разрез первой и представлен серыми кварцевыми песчаниками с прослоями алевролитов и черных сланцев, но без угленосных пластов. В верхней перми различают шаншихэцзискую и шицзяньфэнскую свиты, которые непрерывно продолжают отложения нижней перми. Обе

свиты верхней перми представляют собой ассоциацию из флювиальных красноцветных песчаников с прослоями алевролитов. Шицзяньфэнская свита содержит два пласта красного туфа.

На ранний триас приходится перерыв в осадконакоплении. Средне- и верхнетриасовые отложения широко развиты на западной окраине Ордосского бассейна. Чжифанская свита среднего триаса, сложенная породами флювиально-озерных дельтовых фаций, в основном состоит из серых песчаников с пачками красноцветных аргиллитов, а яньчжанская серия верхнего триаса, принадлежащая также к отложениям флювиально-озерной фации, представлена желтыми песчаниками и сланцами с тонкими пластами углей в верхней части разреза.

Юрские отложения закартированы только на северо-западной окраине бассейна. При этом нижнеюрские осадки здесь отсутствуют, но широко распространены породы средней и верхней юры. Средняя юра подразделяется на яньаньскую и чжилоскую свиты. Первая, несогласно перекрывающая верхнетриасовую яньчжанскую серию, состоит из песчаников, конгломератов и сланцев с тонкими пластами углей; вторая, непрерывно продолжающая разрез яньаньской свиты, представлена песчаниками, аргиллитами и сланцами. Верхняя юра в основном сложена фиолетово-красными аргиллитами, переслаивающимися с песчаниками и алевролитами.

Нижнемеловые осадочные толщи повсеместно развиты на западной окраине Ордосского бассейна. Они представлены слоистыми континентальными красноцветными конгломератами, песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов, а также флювиально-озерными отложениями общей мощностью более 1.7 тыс. м. Верхнемеловые образования в регионе отсутствуют.

Неоген обнаружен на всей территории западной окраины бассейна. Он представлен ассоциацией красноцветных кластических отложений флювиальных и озерных фаций.

Четвертичная система характеризуется различными типами отложений и дифференцированными мощностями. Аллювиальные отложения мощностью более 2 тыс. м сохраняются по речным долинам; в районах же возвышенностей мощность осадков мала. Четвертичный лесс покрывает большую часть района.

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Протерозой (рис. 3, А). Меридионально ориентированная тектоническая система заложилась до среднего протерозоя и определила основу не только бассейна Ордос, но и всей западной окраины Северо-Китайской платформы [Huang Jiqing et al., 1996]. На западной окраине блока Ордос сформировалось Цилянское море и образовалась периконтинентальная окраина, в пределах которой накопился комплекс морских разнотерных кластических осадков и основных вулканитов. Позже протерозойские отложения подвергались региональному метаморфизму, сопровождавшемуся внедрением биотитовых гранитов, что привело к кратонизации и воздыманию фундамента в этом регионе.

В среднем протерозое (чанчжэнское время) блок Ордос вновь погружается. Цилянское море трансгрессирует с юга на север, в результате чего накапливается серия карбонатных, с прослоями кластических, интракратонных по генезису пород на территории всего Ордосского блока. В конце среднего протерозоя в результате тектонических движений регион в целом поднялся и превратился в сушу. Более поздние тектонические движения превратили западную окраину Ордосского блока в узкую вытянутую в меридиональном направлении зону прогибания, в которой в это время накапливалась серия ледниковых отложений.

Палеозой (см. рис. 3, В, С). В раннем кембрии Циньлин-Цилянский морской бассейн, располагавшийся на месте современных одноименных складчатых систем, трансгрессировал к северу и востоку по территории Ордосского блока, что привело его к значительному расширению и, в конечном итоге, к объединению в среднем кембрии с Северо-Китайским морским бассейном. На протяжении значительного времени в раннем палеозое (от раннего кембрия до раннего ордовика) карбонатные отложения открытых платформенных фаций накапливались на очень широкой площади западной окраины Северо-Китайской плиты. В среднем ордовике, вследствие субдукции дна Циньлин-Цилянского бассейна, морское осадко-накопление на территории Ордосского блока постепенно прекратилось. В конце этого периода каледон-

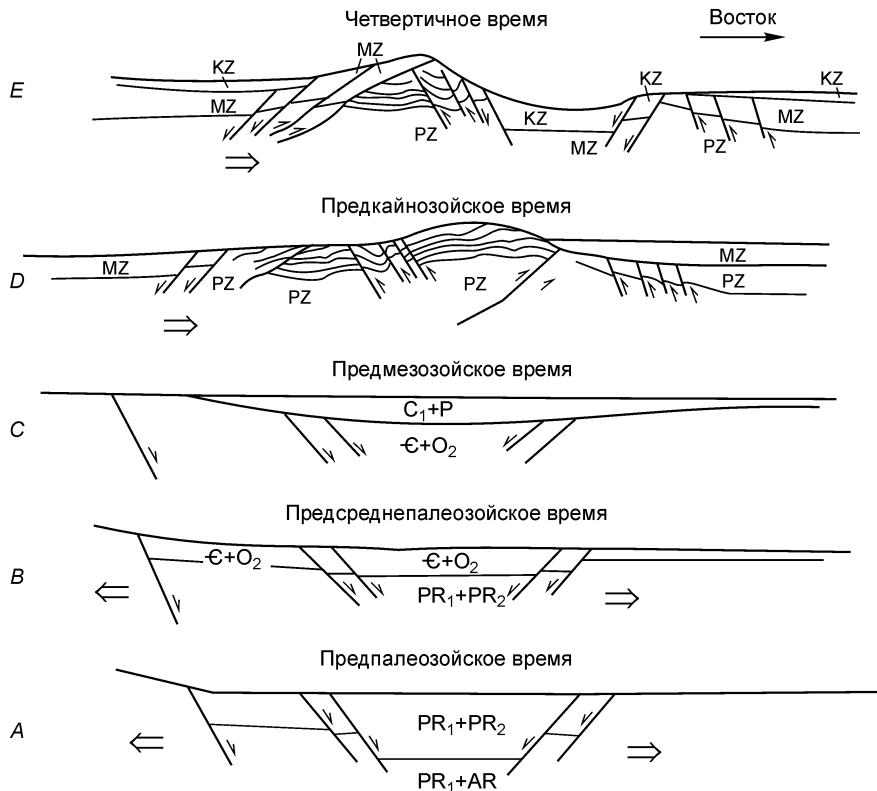


Рис. 3. Тектоническая эволюция западной окраины Ордосского бассейна.

ские движения привели к воздыманию блока и превращению его в сушу. Западная окраина его вступила в состояние длительной (около 150 млн лет), вплоть до конца среднего карбона, денудации. Только в карбоне Циньлин-Цилянський морской бассейн вновь перекрыл блок, трансгрессируя на него с юга. Между средним ордовиком и средним карбоном существовал огромный перерыв в осадконакоплении и между толщами этого возраста образовался структурно-несогласный контакт. В течение этого перерыва происходили интенсивное разломообразование и вулканизм по всей западной окраине Ордосского блока.

В позднем карбоне Циньлин-Цилянское море снова сомкнулось с Северо-Китайским бассейном. В это время в приливно-отливной зоне и лагунах по периферии Северо-Китайской плиты в условиях теплого и влажного климата отлагались угленосные формации. В ранней перми море отступало и, следовательно, мигрировали в пространстве и угленосные формации шаньсиской свиты. В поздней перми климат снова стал жарким и влажным, что спровоцировало формирование пестроцветных кластических пород континентальных фаций. В перми осадконакопление и меридионально ориентированные конседиментационные разломы были распространены по западной окраине блока. Такая геодинамическая обстановка указывает на то, что западнее Ордосского блока в это время постепенно формировалась субмеридиональная тектоническая система.

Мезозой (см. рис. 3, D). В самом начале мезозоя Тибетско-Цинхайская литосферная плита столкнулась с Азиатско-Европейской, что привело к орогенезу и воздыманию Циньлин-Цилянської складчатой системы в триасовый период. На западной окраине Ордосского блока образовались покровно-складчатые системы с обилием надвигов субмеридиональной ориентировки. В это же время Ордосский блок быстро проседал, что приводило к быстрой аккумуляции в аридном климате кластических пород флювиально-озерного генезиса. Бассейн Ордос формировался на покровно-складчатом фундаменте в это же время. К концу триасового периода индо-синийские движения привели к новым поднятиям, к складко- и надвигообразованию на западной окраине бассейна и к формированию несогласия между триасовыми и юрскими отложениями.

В средней юре климат становился теплее и влажнее; в флювиально-озерных фациях формируется угленосная формация. Вследствие яньшаньских тектонических движений образовались некоторые новые крупномасштабные S-образные надвиги в меридиональных покровно-складчатых системах на западной окраине Ордоса. Бассейн осадконакопления частично приподнялся и осушился, и седиментация осуществлялась в поздней юре только на севере его центральной части, чему способствовал второй импульс яньшаньского тектогенеза. В конце юрского периода продолжающиеся тектонические движения привели к поднятию всей северной части Ордосского блока и прогибанию южной окраины бассейна. Здесь в мелу накапливались красноцветные флювиально-озерные кластические отложения мощностью более 1000 м. В среднем мелу надвиговая зона продолжает активно и интенсивно развиваться. Этот процесс привел к поднятию этого района в целом, которое сопровождалось складко- и разломообразованием в нижнемеловых отложениях [Sun Shu et al., 1989; Zhang Hong et al., 2000]. Поздний мел являлся веком воздымания и денудации.

Кайнозой (см. рис. 3, E). Продолжающиеся импульсами гималайские тектонические движения в кайнозое приводили к непрерывному воздыманию западной окраины бассейна Ордос. Серия меридиональных крупномасштабных складок и надвигов, образовавшаяся еще во время яньшаньских тектонических импульсов в этом районе, усложнялась. Причиной могли служить процессы коллизии Индийской и Тибетско-Цинхайской литосферных плит. Многие разломы, образовавшиеся в это время, являются надвигами, поверхности смещения которых в основном наклонены на юго-запад, угол падения поверхностей смещения с глубиной выполаживается. Современная сейсмическая активность по западной окраине бассейна свидетельствует, что тектонические процессы еще активны и в настоящее время.

Предполагается, что коллекторы природного газа в бассейне Ордос формировались под воздействием гималайских тектонических движений [Yang Hua et al., 2005].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бассейн Ордос, крупнейший нефтегазовый бассейн Китая, располагается на севере Центрального Китая. В настоящее время его западная окраина представляет собой серию субпараллельных меридионально ориентированных складок, надвигов, узких депрессий и поднятий.

Меридионально ориентированная узкая зона прогибания на западной окраине Ордосского тектонического блока образовалась еще в позднем протерозое. Карбонатные же осадочные толщи платформенных фаций формировались практически на всей территории блока с раннего кембрия вплоть до среднего ордовика включительно вследствие периодических трансгрессий Циньлин-Цилянського моря к северу по узкой прогнутой зоне, располагающейся на западном краю блока Ордос. От среднего ордовика вплоть до среднего карбона западная окраина блока была сушей, поднятой каледонскими тектоническими движениями, и подвергалась длительной (около 150 млн лет) денудации.

В позднем карбоне и ранней перми на территории бассейна накопились угленосные формации. Собственно нефтегазоносный бассейн Ордос сформировался на фундаменте одноименного блока в триасе, когда закрывался океан Тетис и Тибетско-Цинхайская литосферная плита столкнулась с Азиатско-Европейской, что привело к формированию и орогенному воздыманию Циньлинской и Цзяньской складчатых систем. Индо-синийские тектонические движения вызывали воздымание, складко- и разломообразование западного края бассейна в конце триаса.

В мезозойское время западный край бассейна характеризуется активным формированием надвигов. В средней юре вследствие яньшаньских тектонических движений образовались некоторые меридионально ориентированные крупномасштабные S-образные надвиги по западной окраине бассейна.

Гималайские тектонические движения как результат коллизии Индийской и Тибетско-Цинхайской литосферных плит приводили к усложнению складок и разломов западной окраины. Многие разломы, образовавшиеся в кайнозойскую эру, являются крупными надвигами, поверхность смещения которых выполаживается с глубиной.

Авторы выражают искреннюю благодарность коллегам из Северо-Западного университета за обсуждение рассмотренных в статье вопросов и поддержку полевых работ. Особую признательность они выражают профессорам А.К. Башарину и С.Ю.Беляеву за помощь в подготовке статьи к опубликованию, профессору Ж.Г. Жолтаеву из Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева и профессору С.А. Хусаинову из Казахского национального университета им. аль-Фараби, с которыми авторы совместно работали на западной окраине бассейна Ордос.

Работа поддержана программой Государственных фундаментальных исследований Китая — проект 973, № 2003CB214605.

ЛИТЕРАТУРА

An Zuoxiang, Ma Ji. On separation of North China and gas bearing of Upper Paleozoic of Ordos Basin // Xinjiang Petroleum Geology, 2002, v. 23, № 4, p. 279—282.

Dai Jinxing. Formation of the Central-Asian coal-formed gas accumulation domain and its source rocks—series study on the Central-Asian coal-formed gas accumulation domain// Petroleum Exploration and Development, 1995, v. 22, № 3, p. 1—6.

Feng Fukai, Zhang Yafei. Natural gas geology of China (in Chinese with English abstract). Beijing, Geological Publishing House of China, 1995, 326 p.

Huang Jiqing, Ren Jishun, Jiang Chunfa. The geotectonic evolution of China. Beijing, Science Press, 1996, 124 p.

Li Jingming, Wei Guoqi, Li Dongxu. Natural gas exploration prospect in superposition basins, Western China // Natural Gas Geoscience, 2004, v. 15, № 1, p. 1—6.

Li Songshen. Yanshan movement in North China // Geosciences, 1985, v. 6, № 4, p. 20—33.

Sun Shu, Li Jilinag, Chen Haihong. Mesozoic and Cenozoic sedimentary history of South China // AAPG Bulletin, 1989, v. 73, № 10, p. 1247—1269.

Xia Xinyu, Zhao Lin. Gas sources and mixing ratio of Ordovician weathering crust reservoir of central gasfield in Ordos basin // ACTA Sedimentologica Sinica, 1998, v. 16, № 3, p. 75—79.

Yang Hua, Fu Jinhua, Wei Xinshan. Characteristic of natural gas reservoir formation in Ordos Basin // Natural Gas Industry, 2005, v. 25, № 4, p. 5—8

Zhang Hong, Meng Zhaoping, He Zonglan. Study on the tectonic stress fields in the Ordos Basin // J. Chinese Coal Science, 2000, v. 25, p. 2—5.

*Рекомендована к печати 22 мая 2007 г.
А.Э. Конторовичем*

*Поступила в редакцию
20 января 2006 г.*