

УДК 622.237.2

**ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КОМИ.
УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ,
СЛАНЦЕНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ И ФОРМА ЗАЛЕЖЕЙ
ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

**TECHNOLOGY OF EXTRACTION, PROCESSING
AND ENRICHMENT OF ENERGY RAW MATERIALS OF THE KOMI REPUBLIC.
THE CONDITIONS FOR THE FORMATION OF OIL SHALES,
THE SHALEOUS FORMATIONS AND THE FORM OF THE OIL SHALE DEPOSITS**

Арутюнов Татос Владимирович

ведущий специалист
отдела проектирования и мониторинга
разработки месторождений Ставропольского края,
ООО «НК «Роснефть» - НТЦ»
arutyunov-tatos@mail.ru

Аннотация. Среди каустобиолитов горючие сланцы занимают особое положение как по условиям образования, петрографическому и химическому составу, так и по своей основной роли в развитии топливно-химических отраслей промышленности. Месторождения горючих сланцев известны на всех континентах нашей планеты. Прогнозные мировые запасы горючих сланцев и заключённой в них смолы во много раз превышают известные запасы нефти. Горючие сланцы – это комплексное органо-минеральное полезное ископаемое. Промышленную ценность представляют как органическое вещество, так и минеральная масса сланцев. На базе их может быть организовано производство значительного ассортимента топливных, химических продуктов и разнообразных материалов строительной индустрии. Горючие сланцы привлекают внимание и биологов с целью использования керогена для производства белковых препаратов, и медиков для получения различного рода медицинских препаратов, применяемых в дерматологии. Большой интерес к горючим сланцам проявляют агрономы, поскольку уже некоторые созданные сланцехимические препараты обладают свойствами стимулирования роста растений, а зольные минеральные вещества в отдельных случаях применяются для удобрения кислых почв и повышения урожайности растений.

Ключевые слова: глубина накопления органического вещества горючих сланцев; стадийность сланцеобразования; сланценосные формации и форма залежей горючих сланцев; основные сланценосные формации; фации и ритмы сланценакопления; геотектонические типы месторождений горючих сланцев; форма залежей горючих сланцев.

Arutyunov Tatos Vladimirovich

Leading specialist
of the design and monitoring department
of the field development
of the Stavropol territory,
LLC «Oil Company «Rosneft» - Scientific
and Technical Center»
arutyunov-tatos@mail.ru

Annotation. Among the caustobioliths, oil shales occupy a special position both in terms of formation, petrographic and chemical composition, and in their characteristic role in the development of the fuel and chemical industries. Oil shale deposits are known on all continents of our planet. The projected world reserves of oil shale and resin in them are many times higher than known oil reserves. Combustible shales are a complex organo-mineral mineral. Industrial value is represented by both organic matter and the mineral mass of shales. On the basis of them, the production of a significant range of fuel, chemical products and various materials of the construction industry can be organized. Combustible shales attract attention of biologists for the use of kerogen for the production of protein preparations, and doctors for the preparation of various types of medical products used in dermatology. Greater interest in oil shale is shown by agronomists, since already some shale-chemical preparations have the properties of stimulating plant growth, and the ash minerals in some cases are used to fertilize acidic soils and increase the yield of plants.

Keywords: depth of accumulation of the organic matter of oil shales; shale formation stage; shaleous formations and the form of oil shale deposits; basic shaleous formations; facies and rhythms of the process of accumulation; geotectonic types of oil shale deposits; form of oil shale deposits.

Палеогеографические условия проявления сланценосных формаций

Возникновение, развитие и преобразование органического вещества (ОВ) происходило в определённых палеогеографических условиях геологических эпох. Основными факторами, влиявшими на зарождение и преобразование ОВ на всех континен-

тах во все времена геологического летоисчисления, являлись рельеф материка, климат и вода. Физико-географические условия были изменчивы как в пределах одного и того же периода, так и в различных географических районах материков и океанов. В пределах определённого отрезка времени накопление ОВ при благоприятных палеогеографических условиях тесно связано с литофацией соответствующего петрографического, палеонтологического и геохимического состава морского, лагунного или континентального образования. На накопление и преобразование ОВ во времени оказывал влияние и тектонический режим земной коры отдельных регионов. Все эти и другие факторы в общей совокупности в свою очередь влияли на распределение и концентрацию ОВ в осадке определённой фации.

Фация понимается как закономерный комплекс петрографических и геохимических особенностей отложений, выражающий палеогеографическую и геохимическую обстановку осадконакопления и диагенеза осадка.

Уже в позднем архее рельеф земной поверхности стал более контрастным, произошло увеличение площади суши, в отложениях установлены остатки организмов – бактерий и сине-зелёных водорослей, и, следовательно, жизнь возникла около 2700–2900 млн лет назад. В протерозое происходило возрастание массы ОВ. Господствовали бактерии и водоросли. Кроме сине-зелёных появились водоросли с дифференцированным слоевищем. Учитывая важное значение палеогеографических условий образования горючих сланцев, как и многих других месторождений полезных ископаемых осадочного происхождения, ниже приводится краткая характеристика физико-географических факторов в отдельные геологические эпохи.

Кембрийский период продолжительностью 70 млн лет в структурно-тектоническом плане земной коры характеризуется существованием платформ северной и южной групп, разделённых геосинклинальными поясами.

Атмосфера содержала повышенное количество углекислоты. Климат влажный, тёплый, с проявлением засухи в ряде регионов. Температура морской воды – не ниже 20 °С.

Органический мир был представлен в основном бактериями и водорослями. Земноводные споровые растения – псилофиты – произрастали на сильно обводнённых побережьях. Установлено наличие в отложениях кембрия трилобитов, археоциатов, брахиопод и др. Наиболее благоприятными для образования горючих сланцев были условия северных платформ, однако и здесь они не получили широкого развития. Углепроявление кембрийского возраста, известное в Китае, рассматривается как единственный древний представитель.

На юго-востоке Китая пачка чёрных углисто-кремнистых сланцев имеет мощность 25 м.

Ордовикский и силурийский периоды общей продолжительностью около 90 млн лет характеризуются преимущественным распространением морских геосинклинальных и платформенных отложений. Обломочные фации представлены песчаниками, сланцами, конгломератами и галечниками, карбонатные фации – органогенными известняками, граптолитовая фация – граптолитовыми сланцами, кремнистыми сланцами и сланцами с трилобитами.

Органическая жизнь была сосредоточена главным образом в морских водоёмах. Аккумуляция ОВ происходила в прибрежных ландшафтах.

В ордовике проявление сланценосных формаций установлено только в пределах Прибалтийского бассейна. В основании мощного известняково-доломитового комплекса ордовика залегает пакерортская толща (O1pk), содержащая диктионемовые сланцы с ОВ 15–20 %.

Кероген кукурсита и диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна почти не содержит гумусового вещества, что свидетельствует о его сапропелевом происхождении. Из органического мира господствовала низшая флора – бактерии и водоросли. Вмещающие карбонатные породы, вероятно, органогенного образования.

Девонский период, продолжавшийся приблизительно 50–70 млн лет, характеризуется образованием красноцветных континентальных и наземно-вулканогенных отложений, а также развитием морских обломочных и подводно-вулканических фаций. Красноцветные обломочные фации континентального типа представлены красноцветными конгломератами, гравелитами, песчаниками и глинами и подчиненно мергелями, доломитами, гипсами и каменными солями.

Органический мир характеризуется расширением ареала наземной флоры и фауны. Водная форма была представлена бактериями и водорослями, в наземной флоре в раннем девоне господствовали псилофиты. В среднем девоне стали развиваться споровые растения, а в позднем – разноспоровые папоротники и голосеменные.

Со среднего девона на Сибирской и Русской платформах происходило образование горючих сланцев. В Белоруссии в бассейне Припятского прогиба образовались горючие сланцы данково-лебединского горизонта фаменского яруса верхнего девона. В Кузнецком бассейне и Минусинской котловине горючие сланцы приурочены к основанию разреза среднедевонских отложений.

Каменноугольный период продолжительностью 55–75 млн лет характеризуется широко развитыми морскими – платформенными и геосинклинальными – карбонатными, обломочно-карбонатными и угленосными фациями.

Продолжительные морские трансгрессии на платформах сопровождались широким развитием угленосных фаций на обширных площадях северных и южных платформ. Масштабы проявления угленакопления в карбоне огромны. А горючие сланцы, за редким исключением, образуют самостоятельные месторождения.

Горючие сланцы, образованные в каменноугольный период, обогащены гумусовым веществом.

Пермский период продолжительностью 45 млн лет характеризуется от нижнего отдела к верхнему постепенным сокращением удельного веса морских фаций, повышением лагунных и континентальных фаций.

Чётко выражена зональная биологическая дифференциация. Происходило активное заселение суши растениями, главным образом за счёт поступления свободного кислорода. Значительное развитие получили угленосные и соленосные фации.

Образование горючих сланцев в отличие от интенсивного проявления угленосных фаций не получило широкого развития. На северных платформах пермские горючие сланцы встречаются очень редко (Франция). Известные сланценозные бассейны образовались в основном на площадях южных платформ (Австралия, Бразилия). На территории бывшего СССР известен Кендерлыкский угольно-сланцевый бассейн.

Горючие сланцы залегают над угольными толщами или подстилают их или отмечаются чередование слоёв угля и сланца.

Триасовый период продолжительностью 45 млн лет характеризуется господством континентальных платформенных, а также лагунных фаций. Процессы угленакопления в триасе были развиты слабее, чем в позднем палеозое. Аридный климат способствовал образованию доломитов, доломитизированных известняков, гипсов, ангидритов, каменных солей и исчезновению растительного покрова суши. В связи с обмелением морей и регрессиями, охватившими континенты, сложились неблагоприятные условия для развития органического мира, а, следовательно, и горючих сланцев. Известные месторождения горючих сланцев в ФРГ Испании, Австрии – весьма ограниченных размеров, низкого качества, содержат гумусовый материал и имеют повышенный процент пирита.

Юрский период продолжительностью 58 млн лет характерен преимущественным развитием морских и континентальных, меньше лагунных фаций, интенсивным и многообразным проявлением тектонической деятельности.

Несмотря на благоприятные палеогеографические условия в юрский период, образование горючих сланцев происходило на весьма ограниченных площадях. Отдельные месторождения горючих сланцев обнаружены в Австралии, Латинской Америке, Африке. Концентрация основной массы ОВ горючих сланцев происходила на обширной территории восточной и северо-восточной частей Русской (Восточно-Европейской) платформы, где выявлены такие крупные сланценозные бассейны, как Волжский и Тимано-Печорский.

Меловой период продолжительностью 70 млн лет характеризуется развитием морских (платформенных и геосинклинальных) фаций. Морские фации представлены мелководными песчано-глинистыми осадками и карбонатами, а континентальные – мелом, конгломератами и песчано-глинистыми осадками, угле- и сланценосными породами.

Кроме широкого проявления угленосных фаций в некоторых регионах развиты сланценозные фации мела. Месторождения горючих сланцев известны в Забайкалье, Монголии, Сирии, Иордании, Ливии, Марокко, Бразилии, Аргентине, США, Италии, Канаде, Испании и др.

Палеогеновый период продолжительностью 41 млн лет характеризуется развитием морских, лагунных и континентальных фаций. Морские эпиконтинентальные фации, образованные в мелководных морях, представлены песчано-глинистыми и карбонатными отложениями. Лагунные фации представлены соленосными песчано-глинистыми отложениями с залежами нефти. Континентальные фации разнообразны по составу и генезису – озёрно-болотные, аллювиальные, элювиальные и эоловые отложения.

Потепление климата сопровождалось развитием высших представителей флоры и фауны.

В палеогеновый и затем в неогеновый периоды на всех континентах в большей или меньшей степени происходило образование горючих сланцев. Во многих районах земного шара были образованы крупные по площади и запасам сланценозные бассейны – карпатские менилитовые сланцы, Грин-Ривер США, Польша, Румыния, Новая Зеландия и т.д. Из всех геологических периодов палеогеновый был самым интенсивным по накоплению ОБ горючих сланцев в осадочных отложениях не только по площади распространения, но и по его концентрации в отдельных районах континентов.

Неогеновый период продолжительностью около 24,5 млн лет характеризуется господством континентальных фаций (элювиально-делювиальных, озёрных, аллювиальных, пролювиальных, эоловых и пр.). Морские фации представлены эпиконтинентальными (песчано-глинистые и известняки) и геосинклинальными (терригенные отложения) фациями, лагунные в виде песчано-глинистых с каменной солью и гипсом (типично лагунные) и опреснённых лагун с обильными растительными остатками.

На более раннем этапе развития отложений неогена продолжалось образование горючих сланцев, но затем в связи с изменением климатического режима интенсивность постепенно снижалась, вследствие чего сократились площади накопления ОБ.

Антропогенный (четвертичный) период продолжительностью 1–2 млн лет характеризуется образованием рыхлых осадков мощностью от десятков до нескольких тысяч метров. Морские фации по сравнению с фациями неогена имеют несколько большее развитие за счёт мелководных эпиконтинентальных морей, тогда как площадь геосинклинальных фаций сократилась. Континентальные фации представлены галечниками, песками, глинами, суглинками.

Образование горючих сланцев происходило во все геологические эпохи. Палеогеографические условия всегда оказывали влияние на образование, концентрацию и распределение ОБ в различных районах земного шара. В одни геологические периоды происходило довольно интенсивное сланцеобразование, в другие – менее интенсивное или весьма незначительное. Максимумы сланценакопления приходятся на юрский и палеоген-неогеновый периоды, минимум – на триас.

О роли бактерий в преобразовании органического вещества

Химический состав керогена горючих сланцев зависит как от химического состава исходного ОБ, так и от степени его диагенеза в аэробных и особенно анаэробных условиях. В преобразовании сапротелевого вещества, в том числе водорослей, активная роль принадлежит бактериям. Для сине-зелёных, зелёных и бурых водорослей характерно высокое содержание углеводов (до 70–75 %) и белков (до 35 %).

Исходное ОБ горючих сланцев в шельфовой части морей, лагунах, озёрах и других водоёмах под влиянием многочисленных факторов в различные фазы диагенеза подвергалось последовательной многоступенчатой переработке с перестройкой структуры. Преобразование его происходило в аэробных и анаэробных условиях. В верхней зоне водного бассейна активно развивались аэробные бактериальные процессы, а в зоне, не содержащей свободного кислорода, – анаэробные. И в том, и в другом случае активная роль принадлежала бактериям.

В горючих сланцах каждого месторождения в большем или меньшем количестве содержатся соединения серы. В одном случае это минеральные, в другом – органические соединения. Не исключена возможность, что образование некоторых соединений серы, особенно органической, связано с деятельностью сернистых бактерий.

В горючих сланцах, как правило, в больших или меньших количествах содержатся железосодержащие минералы – пирит и марказит. В первоначальном виде в биосфере железо, вероятно, находилось в растворённом состоянии в виде закисного соединения. В последующем совместно с накоплением ОВ закисное железо переводилось железобактериями в гидроокиси и окиси.

Некоторые исследователи различают среди бактерии пять основных разновидностей: разлагающие клетчатку, разлагающие жиры и пектиновые вещества, связывающие азот, разлагающие белки, денитрифицирующие азот. Таким образом, каждая из этих бактерий выполняла свою роль в биогенезе сапропелевого материала.

Приведённые данные свидетельствуют о многообразии бактерий, способных перерабатывать как органические вещества, так и неорганические соединения, и создавать целую гамму сложных новообразований. Как видно, накопление сине-зелёных и прочих водорослей происходило в различные геологические периоды в различной литолого-фациальной обстановке. Во многих случаях им принадлежала активная роль не только в образовании горючих сланцев, но и многих руд.

Процесс бактериальной переработки ОВ происходит многостадийно и последовательно по мере его продвижения от поверхности слоёв воды бассейна до погребения, а возможно и в более позднее время. Любое ОВ поражают бактерии. Вначале ОВ подвергается окислению, а затем разложению органических остатков. Биохимические процессы способствуют образованию кислорода, а при отсутствии циркуляции происходит его накопление и размещение.

Наличие органических остатков установлено в отложениях докембрия, возраст которых – не менее 3 млрд лет. Докембрийские отложения бедны ископаемыми остатками организмов, но, тем не менее, важно, что в далёкие времена, когда ещё только начала формироваться земная кора, уже существовали органические вещества. В докембрийских породах Кольского полуострова и Северной Карелии содержание органического углерода колеблется от долей до десятков процентов. В битумоидах ОВ вендско-рифейских отложений юга Якутии преобладают метано-нафтенновые структуры. Наличие в породах докембрия и раннего палеозоя концентраций ОВ и урана объясняется интенсивностью накопления планктоногенного ОВ.

Необходимым условием для образования керогена горючего сланца является сохранение чисто липидного ОВ. После гибели планктона его пожирают анаэробные бактерии, в результате чего начинается биохимический процесс – окисление, разложение органических остатков в природной зоне с превращением в нерастворимый кероген.

Глубина накопления органического вещества горючих сланцев

Накопление ОВ в иловой зоне водоёмов связано с развитием морских, лагунных и континентальных фаций в отдельных областях или районах или небольших участках земной коры. Накопление, распределение и концентрация его в осадке зависят от многих факторов, в том числе от ранее образовавшихся тектонических структур горных пород, слагающих район, тектономагматических проявлений в процессе сланцеобразования, морфологии суши и дна водного бассейна, физико-географических условий и др.

В лагунах, дельтах и озёрах континентальных фаций по аналогии с современными условиями аккумулятивное накопление исходного материала сланца и сапропелей, по-видимому, происходило в мелководных условиях на сравнительно небольших глубинах.

Жизнедеятельность органического мира гидросферы происходит на сравнительно небольших глубинах. По мере уменьшения количества свободного кислорода биохимическая деятельность ослабевает, и на глубинах 500–1000 м количество свободного кислорода практически равно нулю.

Аккумулятивное накопление исходного материала сланцев и сапропелей происходило на глубине едва ли более 300 м, часто гораздо меньше. На основании исследования вещественного состава прибалтийских сланцев и вмещающих пород, а также геотектонических условий сланценакопления можно сказать, что образование кукерситов происходило в открытом море, в условиях нормального газового режима.

В синклинальных складках, тектонических впадинах и котловинах образование многих месторождений горючих сланцев происходило на сравнительно больших глу-

бинах. Этому способствовали во время сланценакопления колебательные движения земной коры, особенно с опусканием дна моря.

В современных условиях водоросли накапливаются в прибрежной части многих морей и океанов. Наиболее благоприятная для жизни планктона зона фотосинтеза, проникающая на глубину не более 50 м.

Стадийность сланцеобразования

Формирование горючих сланцев происходило длительно и распадалось на несколько последовательно сменяющихся микробиохимических, химических и геохимических реакций, возникавших в процессе диагенеза исходного вещества. Биохимический процесс эволюционировал от простейших к сложным химическим соединениям, от жидкой фазы к твёрдому веществу, каким в конечном виде является кероген. Процесс формирования комплексов углеводородных, кислородсодержащих и прочих соединений связан с определёнными стадиями сланцеобразования: водорослевой, липидной, геохимической и шунгитовой.

Водорослевая стадия сланцеобразования – самая ранняя и характеризуется развитием водорослей в верхней зоне морских, озёрных, дельтовых и прочих преимущественно мелководных водоёмов в аэробных условиях, когда водоросли под бактериально-биохимическим влиянием преобразуются в гелевидную массу. На интенсивность биохимического процесса на данной стадии влияли палеогеографические условия, существовавшие в зоне гипергенеза поверхностных частей земной коры. В окислительной среде окислению и биохимической переработке подвергались также и другие живые организмы. Возникшие мельчайшие гелевидные частицы ОВ на данной стадии не образовывали скоплений и агрегатов. По мере возрастания количества минеральных взвесей, особенно глинистого состава, происходило постепенное передвижение всей этой массы в зону илов. В этом случае минеральные компоненты играли роль адсорбента.

На данной стадии образованные водорослевые плюски представляют собой жидкость зелёного цвета, которая быстро твердеет. В свежем состоянии плюска полностью растворяется в холодных жирных растворителях.

Липидная стадия формирования ОВ горючих сланцев является продолжением первой стадии. Фактически они тесно взаимосвязаны, и различие их заключается в том, что на первой стадии начальный процесс формирования ОВ происходит в аэробных условиях и характеризуется ходом простейших реакций, а на липидной – в анаэробных условиях, при этом полимеризация сопровождается протеканием сложных химических реакций замещения и новообразований.

ОВ, поступившее в придонную иловую зону водоёма в виде гелевидной массы совместно с минеральным материалом, подвергалось диагенезу. В иловой зоне в анаэробных условиях гелевидное вещество преобразовывалось бактериями в продукт липидной природы высокой химической ненасыщенности. С течением времени уменьшается ненасыщенность и увеличиваются инертность и нерастворимость.

Геохимическая стадия характеризуется биогенно-химическим преобразованием липидного ОВ и минералообразованием в анаэробных условиях. Отложения ОВ преимущественно жирового состава аэробного образования подвергались биосинтезу и захоронению. В этих же условиях происходило минералообразование в виде гидратных или солевых соединений железа, сульфатов, сульфидов, карбонатов, водных силикатов алюминия, карбонатов алюминия и прочих минералов. Если для образования углей необходимым условием является массовое накопление и преобразование растительного материала, то для горючих сланцев исходным веществом служил в основном биохимически преобразованный водорослево-сапропелевый материал – липиды, подвергнутые биосинтезу.

Шунгитовая стадия отвечает высшей стадии метаморфизма ОВ горючих сланцев. Под воздействием тектоно-магматических проявлений ОВ горючих сланцев превращено в углеродистый минерал типа шунгита.

В раннем протерозое (почти 1 млрд лет назад) на территории Карелии в обстановке мелководных морских водоёмов образовались песчано-глинистые породы, содержащие ОВ водорослевого происхождения. В результате магматической деятельно-

сти и тектонических воздействий осадочный комплекс пород был преобразован в кристаллические сланцы различного минералогического состава. ОВ водорослевого происхождения преобразовалось в чисто углеродистый минерал – шунгит. Углерод шунгитовых сланцев (изотоп ^{12}C) преобладает над неорганическим углеродом (изотопом ^{13}C) в соотношении $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 93$. Шунгит состоит из 98 % углерода и 2 % минеральных примесей. Цвет шунгита смоляно-чёрный, блеск полуметаллический, плотность 1,8–1,9. Не прозрачен и не просвечивает. Летучие вещества отсутствуют. Массовая доля чистого минерала шунгита в сланцах не превышает 0,2 %.

Основные сланценозные формации

Применительно к горючим сланцам В.А. Котлуков предложил следующее определение сланценозных формаций: «Это парагенетически связанные комплексы осадочных или осадочно-вулканогенных пород, включающих горючие сланцы в таких концентрациях, которые позволяют рассматривать их как полезное ископаемое». Накопление ОВ связано с формированием определённого комплекса пород в определённых палеогеографических условиях соответствующего геологического периода.

Выделение и изучение сланценозных формаций, прежде всего, имеет практическое значение при перспективной оценке того или иного района. В зависимости от масштабов проявления, условий залегания сланцевых толщ, качества сланцев и других факторов выделяются предпосылки промышленного освоения горючих сланцев.

Ниже приведено описание основных сланценозных формаций мира.

Сапропелевый тип. € 1–2.

Кембрийская формация Оленекского бассейна Якутии. Формация сланценозной известково-глинисто-кремнистой толщи пород куонамской свиты ленского и амгинского ярусов Оленекского бассейна распространена на площади свыше 500 тыс. км² на северо-востоке Сибирской платформы. Образование сланцев в центральной части бассейна приурочено к Суханскому прогибу, который осложнён серией впадин, разделённых валлообразными поднятиями.

Сланценозная толща куонамской свиты подразделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты. Нижняя, глинисто-известковая, содержит многочисленные и нередко мощные пласты горючих сланцев; верхняя сложена переслаивающимися слоями кремнисто-глинистых, известково-глинистых пород и горючих сланцев. Мощность продуктивной свиты 25–90 м.

Терригенный материал отсортирован, сланцы обладают тонкой горизонтальной слоистостью, сланценозная толща распространена на большой площади и пачки сланцев выдержаны. Сланцы тёмно-коричневого, серого, коричневого и чёрного цвета, тонкослоистые, расщепляются на тончайшие пластинки. Содержат примеси кремнезёма, кальцита, гидролизированного железа. ОВ заключено в алеврито-глинистой массе в виде неправильных линзочек или в виде участков клиновидной формы. Содержание ОВ в сланцах 15–25 %.

Качественная характеристика горючих сланцев (%): влага – 1,2–4,1; зола 61–79; CO_2 25,0–23,7; сера 0,8–2,4. Теплота сгорания сланцев 4186–10353 кДж/кг. Выход смолы 5–10 %, редко больше. Элементарный состав ОВ (%): С – 70–79; Н – 8–10; N – 1,5–7,6; O – 4–15; S – 6,9.

Прогнозные запасы сланцев оцениваются в 300 млрд тонн.

Сапропелевый тип. € – S.

В Швеции известны многие месторождения горючих сланцев кембрийско-силурийского возраста морского образования. В полезной толще залегают два пласта сланцев (Нерке) мощностью по 7–9 м каждый. Сланцы добываются открытым способом, поскольку залегают неглубоко. Выход и состав смолы сланцев Швеции приводятся ниже:

- зола – 70–73 %;
- теплота сгорания – 7536–9420 кДж/кг;
- выход смолы – 3–7 %;
- элементарный состав ОВ (%): С – 70–79; Н – 8–10; O – 4–15; N – 1,5–7,6; S – 6–9.

В Швеции горючие сланцы перерабатываются с целью получения топливных продуктов, а главное, для извлечения урана и других металлов. Запасы сланцевой смолы известных месторождений Швеции (Нерке, Остерготланд, Вестерготланд, Оланд и др.) 600 млн тонн.

Сапропелевый тип. О1.

Ордовикская формация диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна. Сланцы распространены на значительной площади Эстонии, частично на территории Ленинградской, Новгородской и Вологодской областей – свыше 12 тыс. км². В Эстонии сланцы прослеживаются в виде полосы субширотного направления длиной 250 км, шириной 15–20 км на востоке и до 80 км на западе.

Название «диоктионемовые сланцы» произошло от присутствия в аргиллитах, обогащённых на 10–20 % ОВ, остатков дендроидей – *Dictyonema*. Накопление сланцев происходило в эпиконтинентальном заливообразном бассейне в самом начале раннего ордовика.

Сланец от тёмно-коричневого до чёрного цвета, слоистый. Плотность 1,5–1,9. Теплота сгорания 4280–5800 кДж/кг. Выход смолы на сланец 2–4, на ОВ 18–20 %. Элементарный состав ОВ (%): С – 67–76; Н – 7,4–7,6; О – 12,0–18,5; N – 1,9–3,6; S – 2–6. Повышенное содержание азота в керогене свидетельствует о животном происхождении его материнского исходного вещества.

В диктионемовом сланце содержатся Fe₂O₃, P₂O₅, V₂O₅, а также сульфаты кальция и магния. Установлено присутствие редких и рассеянных элементов в повышенных количествах.

Запасы сланцев свыше 600 млрд тонн.

Сапропелевый тип. О2.

Ордовикская карбонатно-кукерситовая формация Прибалтийского бассейна. Формация образована в платформенных условиях. Расположена она на южном склоне Балтийского щита. Пологое моноклинальное погружение осадочных пород кукерского горизонта среднего ордовика на юг и юго-восток в основном отвечает погружению поверхности ниже расположенного кристаллического фундамента.

В пределах Прибалтийского бассейна известно несколько месторождений горючих сланцев, но наиболее разведанными и изученными являются Эстонское на западе и Ленинградское на востоке. Площадь распространения сланцевой толщи – около 100 тыс. км².

ОВ – сапропелевого состава. Для сланценосной толщи Прибалтийского бассейна характерна частая смена ритмов в сланценакоплении. Горючие сланцы Прибалтийского бассейна богаты ОВ (22–52 %). Выход смолы на сланец 13–40 %. Теплота сгорания сланцев 9200–19200 кДж/кг. Выход летучих веществ 27–55 %. Элементарный состав ОВ (%): С – 74,0–77,8; Н – 9,3–9,9; О – 9–10; N – 0,3–0,4; S – 1,6–1,9; Cl – 0,60–0,90. Выход смолы на кероген 30–68, реже выше 70 %. Теплота сгорания керогена 37260 кДж/кг. Смола содержит свыше 20 % фенолов.

Добыча горючих сланцев бассейна организована шахтным и открытым (разрезы) способами. Сорт сланца 0–25 мм (мелкозернистый сланец) используется для энергетических целей, сорт 25–125 (технологический сланец) поступает в газогенераторные и камерные печи, а также на установку УТТ (с твёрдым теплоносителем), а сорт крупностью более 125 мм подвергается дополнительному дроблению. На рисунке 1 приводится принципиальная схема комплексного энерготехнологического использования горючих сланцев.

Запасы сланцев с учётом забалансовых 24 млрд тонн.

Гумусово-сапропелевый тип. D3.

Формация доманиковых сланценосных отложений европейской части России. Формация распространена на обширной площади северо-востока европейской части России – от Тимана до Урала. На накопление осадочного комплекса пород и условия их залегания существенное влияние оказали крупные структурные элементы, возникшие в варисскую эпоху тектогенеза складчатая область Тимана, Печорская синеклиза, геосинклинальная область Урала и Предуральский краевой прогиб (рис. 2). В различ-

ных районах доманиковые отложения имеют довольно сложное строение: в Ухтинском районе наблюдается переслаивание чёрных и серых битуминозных кремнённых известняков, горючих сланцев, мергелей и кремней с прослоями глин, в Ижевском районе – переслаивание битуминозных глин с прослоями мергеля, глин, битуминозных аргиллитов, горючих сланцев и чёрных кремнистых пород, на Среднем Тимане распространены аргиллиты, песчаники, глины и т.д.

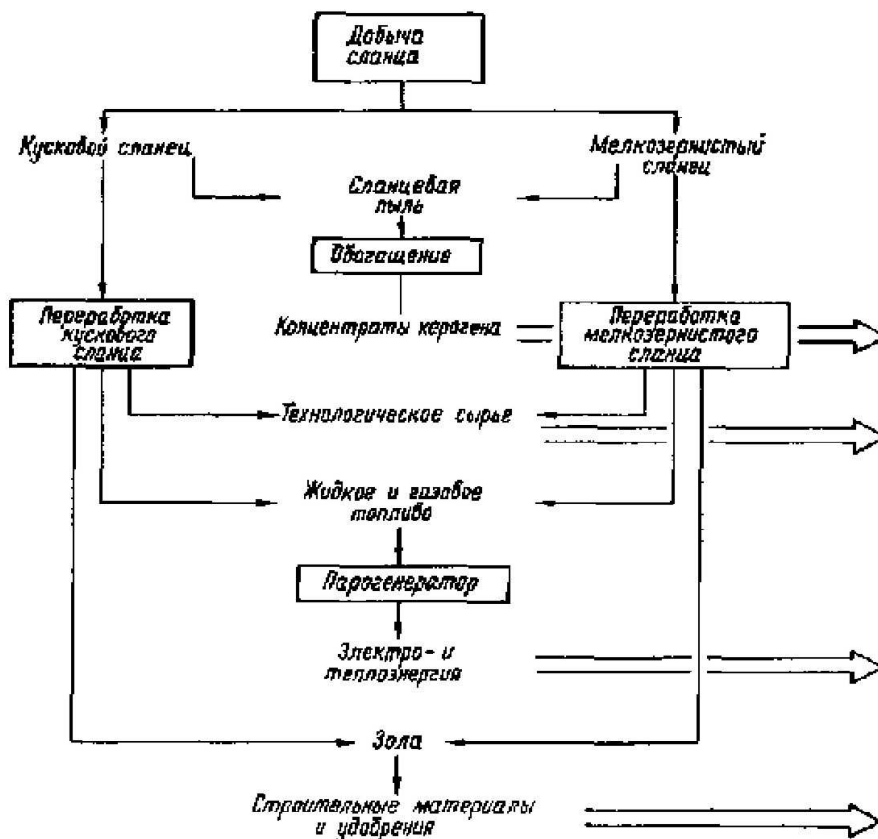


Рисунок 1 – Схема комплексного энерготехнологического использования горючих сланцев

Доманиковые отложения распространены на площади в сотни тысяч квадратных километров. Образование доманиковых отложений происходило в морском мелководном бассейне. Планктон был богат гониатитовой и пелециподовой фауной. Содержатся остатки лингул, гониатитов, птеропод, брахиопод, остракод, цефалопод.

Мощность сланцевой толщи непостоянна (10–75 м). Количество пластов горючего сланца в разрезе сланцевой толщи также непостоянно даже в пределах одного и того же района. Изменчиво и качество сланцев. В доманиковом горизонте Ухтинского района выделил 248 прослоев пород, в том числе 163 слоя и прослоя горючих сланцев (табл. 1):

Таблица 1 – Характеристика пород доманикового горизонта Ухтинского района

Показатели	Горючие сланцы	Известняки	Кремний	Глины	Всего
Количество слоёв и прослоев	163	74	106	5	348
Суммарная мощность, м	27,2	8,0	10,1	2,4	47,7
Содержание пород, %	59,1	16,7	21,2	5,0	100

Мощность пластов и слоёв сланцев 0,1–2,2 м. Каждый пласт нередко состоит из серии маломощных слоёв, разделённых прослоями пород. Сланцы листоватые, тонко- и микрослоистые, плотные. ОВ неоднородно по составу и по цвету (от чёрного до тёмно-бурого и жёлтого, реже красно-бурого) встречается в виде сгустков, линзовидных скоплений и тонких прожилков, или окаймляет обломки фауны, породы, или пронизывает

породу. Присутствуют обломки кларена и касьянита, обрывки кутикулы. Плотность сланца 1,47–2,28. Содержание ОВ 10–30 %. Теплота сгорания сланцев 4000–14600 кДж/кг, выход смолы на сланец 5–15, реже 30 %. Сланцы от мало- до высокосернистых. Элементарный состав ОВ (%): С – 63–81; Н – 7–10; S – 2–6.

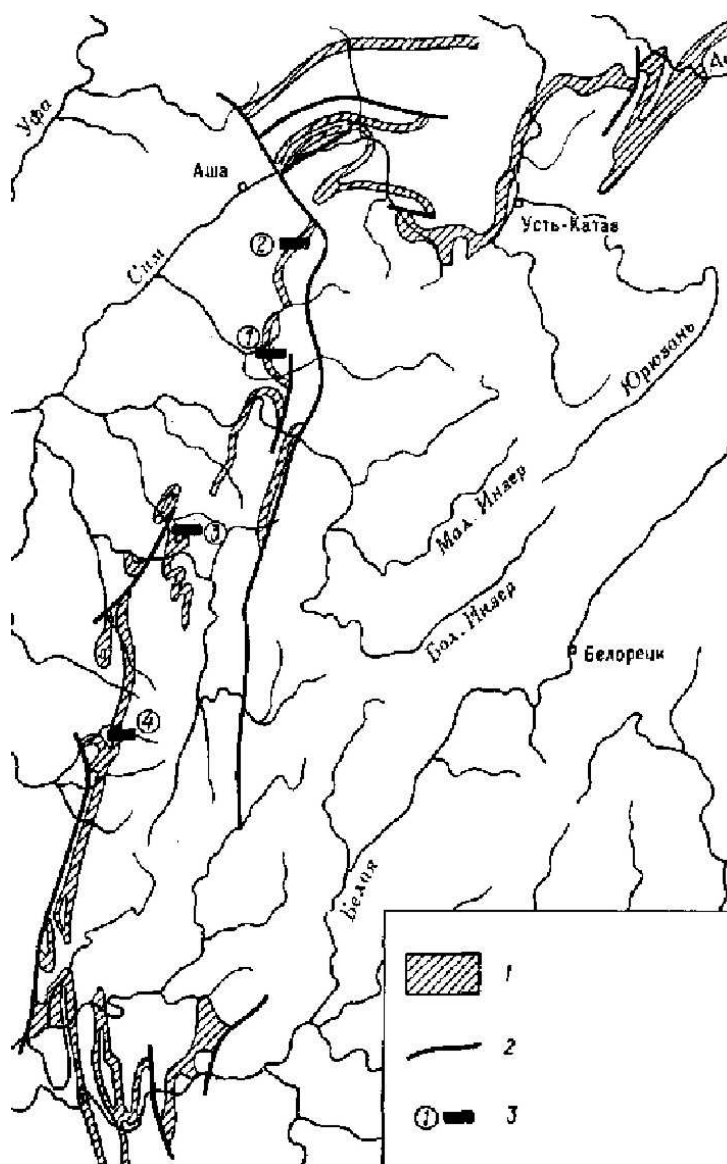


Рисунок 2 – Схематическая геологическая карта выходов доманиковой свиты в Южном Приуралье:

- 1 – выход доманиковых отложений; 2 – дизъюнктивные нарушения;
 3 – месторождения горючих сланцев (цифры в кружках):
 1 – Лемезинское; 2 – Ашанское; 3 – Зилимское; 4 – проявление сланценоности в бассейне р. Зиган

Горючие сланцы распространены на обширной площади. По перспективной оценке суммарные вероятные и возможные запасы сланца составляют 15,5 млрд тонн, а по некоторым данным – 400 млрд тонн.

Сапропелевый тип. D3.

Формация горючих сланцев Припятской впадины. Формация данково-лебедедянского горизонта фаменского яруса Припятской впадины распространена на значительной площади Белоруссии. Накопление сланценозной толщи приурочено к западному окончанию Припятского прогиба и происходило в лагунных и лагунно-морских условиях. Внутри прогиба выделяются несколько депрессий – Шатилковская, Туровская, Ельская и др. Развитие Припятского прогиба и отдельных его структур было сложным и длительным.

Туровское месторождение представлено одним пластом сланца простого строения мощностью 0,13–3,0, в среднем 1,65 м. В верхней части разреза сланцы постепенно переходят в сапропелевые мергели. Падение пласта пологое (1–2°). Качественная характеристика (%): зола 62–82, массовая доля серы 1,5–4,0. Выход смолы 6–14, в среднем 8 %. Теплота сгорания 4180–9100 кДж/кг. Запасы сланцев 5124 млн тонн.

Запасы сланцев по бассейну 11 млрд. тонн.

Гумусово-битуминозный тип. D3-C1.

Формация чёрных сланцев Онтарио США, Канады. Формация распространена в Северной Америке на территории США и Канады. В США, в восточной и центральной части страны, сланцы формации занимают площадь более 650 тыс. км².

Отличительная особенность сланцев формации – чёрный цвет. Массовая доля ОВ не постоянна (5–25 %), в соответствии с этим значительно изменяются теплота сгорания (4000–8300 кДж/кг) и процент выхода смолы на сланец (4–10 %).

В сланцах обнаружено присутствие урана, что увеличивает к ним интерес промышленных организаций.

Запасы чёрных сланцев США оцениваются в триллионы тонн.

Сапропелево-гумусовый тип. D3-P1.

Формация угольно-сланцевая Кендерлыкского бассейна Казахстана. Формация приурочена к крупному Кендерлыкскому грабену Зайсанской впадины, возникшему в позднем карбоне, когда вначале происходило накопление континентальных угленосных отложений – аканской свита, а затем в лагунах в солоноватоводной среде образовались сланценовые отложения – кендерлыкская (С3) и караунгурская (Р1) свиты. В конце ранней перми лагунный тип сменился континентальным (сайканская свита).

Состав ОВ горючих сланцев в разрезе продуктивной толщи неоднороден. Если сланцы кендерлыкской свиты преимущественно сапропелево-гумусового состава, то сланцы караунгурской свиты представляют собой смесь гумусово-сапропелевой массы с минеральной составной частью. Кероген содержит ксилофузен, витрен, споры, кутикулы.

Смола кендерлыкских сланцев малосернистая. Выход смолы полукоксования на сухой сланец составил: по пласту «Калын-Кара» – 9,4, «Лучший» – 18,2 %. Пиролиз смолы показал выход бензиновой фракции 25, дизельной – 36, лигроиновой – 10 %.

Запасы сланцев по прогнозной оценке 6020 млн тонн.

Сапропелево-гумусовый тип. P2.

Формация Ирати Бразилии. Формация представлена сланценовыми отложениями аргиллитовой фации. Пермские отложения общей мощностью 500–700 м объединяются в серию Пасса-Дайс, в состав которой входит и сланцевая формация Ирати.

В штате Рио-Гранде-до-Сул сланценовая толща содержит два пласта горючих сланцев. Мощность верхнего пласта 9 м с постоянным уменьшением к югу и востоку, нижнего – 4,5 м. К югу также наблюдается уменьшение мощности. Так, в районе Сан-Матеус-до-Сул мощность нижнего пласта 3,21, верхнего – 6,5. Выход смолы на сланец верхнего пласта – 6,4, нижнего – 9,1 %. Массовая доля ОВ 20–30 %. Сланцы чёрного цвета дают выход смолы 4 %, тёмно-коричневые – 10–12 %. Теплота сгорания сланцев 6280–8370 кДж/кг. Выход летучих 18–31 %.

Горючие сланцы формации Ирати распространены на огромной площади. По прогнозным запасам сланцев Бразилия занимает второе место в мире.

Запасы сланцевой смолы оцениваются в 1200 млрд тонн.

Сапропелево-гумусовый тип. I1.

Формация горючих сланцев лейаса западноевропейских стран. Формация занимает обширные области в странах Западной Европы. Сланценовые толщи лейаса в виде полос простираются на сотни километров в Англии, Франции, Германии и других странах. Проявление сланценовости формации установлено и на территории Испании и Португалии.

Образование горючих сланцев лейаса в большинстве случаев происходило в морских условиях. ОВ сапропелевое или гумусово-сапропелевое. В сланцах нередко встречаются форменные углистые макрокомпоненты типа витринита, экзинита и фю-

зинита. Содержание ОВ и 10–20 %. Теплота сгорания невысокая – 4186–8373 кДж/кг. Выход смолы 3–15 %.

Прогнозных обобщающих данных по запасам сланцев Западной Европы нет.

Сапропелевый, сапропелево-гумусовый тип. I3.

Формация верхнеюрских сланценосных отложений Волжского бассейна. Формация широко распространена в восточной части Русской платформы. Эти отложения в виде широкой прерывистой полосы протягиваются от Белого моря на севере до Каспийского на юге. В общей сложности их площадь свыше 350 тыс. км².

Пласты горючих сланцев залегают почти горизонтально. Количество пластов в разрезе полезной толщи непостоянно (1–5 и более, иногда 15–20 маломощных слоёв). Мощность пластов сланцев различна (0,30–3, даже 5 м), на отдельных участках месторождения изменяется в широких пределах.

Горючие сланцы сланценосной толщи отличаются друг от друга по содержанию CaCO₃: сапропелевые слабоизвестковистые (CaCO₃ до 10 %), сапропелевые известковистые (CaCO₃ до 25 %), сильно-известковистые (CaCO₃ свыше 25 %). Сланцы всего бассейна высокосернистые, в среднем выше 3,0 %. Качество сланцев нестабильно даже в пределах одного и того же месторождения. Содержание ОВ в сланцах 20–30 %. Элементарный состав ОВ (%): С – 56–79; Н – 6,5–10,9; О + N – 13–35; S – 1,2–11,8.

Прогнозные запасы Волжского бассейна сланцев 500 млрд тонн, смолы 45 млрд тонн.

Гумусовый тип. P3.

Формация менилитовых сланцев Карпат. Формация распространена на обширной площади Карпат и прослеживается на территории Польши, Чехии, Словакии, Венгрии и Румынии. Флишсоидная формация геосинклинальных сланцевых образований имеет сложное тектоническое строение.

На территории России практический интерес представляет нижнеменилитовая свита, поскольку в слагающих её породах содержится ОВ повышенной концентрации. Для менилитовых сланцев характерен их постепенный переход к аргиллитам и алевролитам. Линзовидные прослои сланцев не выдержаны по простиранию и падению. ОВ распределено неравномерно и составляет 15–20 %, реже больше. Теплота сгорания сланцев 4200–7700 кДж/кг, редко выше. Выход смолы 3–6 % на сланец.

Фракционный состав смолы полукоксования (%): перегоняется до 150 °С – 9, 200 °С – 24,5, 300 °С – 60,5, 325 °С – 66,0, 350 °С – 75. Групповой состав смолы на сланец (%): фенолы + карбоновые кислоты – 8,7, азотистые основания – 1,2, парафины – 1,5, нейтральные кислородные соединения – 15. Минеральная часть сланцев относится к алюмосиликатному типу (%): SiO₂ – 50–64, Al₂O₃ – 7–13, Fe₂O₃ – 3–6, CaO – 0,3–1,5, MgO – 0,8–1,8, K₂O + Na₂O – 0,4–3,0. Минеральная (зольная) часть сланцев пригодна для производства многих строительных материалов.

Запасы смолы, 15–20 млрд. тонн, газа – 25865 · 10⁹ м³.

Сапропелевый тип. P1.

Алеврито-аргиллито-сланцевая формация Болтышской и Ротмистровской впадин Украины, Формация приурочена к впадинам, образованным в докембрийских кристаллических породах Украинского массива. Накопление сланценосных пород происходило в мелководных, прибрежно-морских и озёрных условиях.

Элементарный состав ОВ (%): С – 62–72; Н – 9–10; О – 15–21; N – 1,2–2,3; S_{орг} – 1–2. Выход летучих веществ – 75–85 %. Смола малосернистая, но содержит до 4,6% азотистых оснований и до 8,4 % парафинов.

Выход бензиновой фракции 18,5, дизельной – 38, тяжёлой – 40,0–44,3 %. Минеральная часть в основном алюмосиликатная. Содержание Al₂O₃ в отдельных пластах составляет 27 %. Она пригодна для производства аглопорита, ячеистого бетона, минеральной ваты и каменного литья.

Запасы сланцев с выходом смолы более 10 % составляют 3,5 млрд тонн. При теплоте сгорания 6280 кДж/кг запасы увеличатся в несколько раз.

Сапропелево-гумусовый тип. P2.

Формация сланценосных гринриверских отложений США. Формация распространена на площади 65 тыс. км². Сланценакопление происходило в структурных формах,

возникших в Скалистых горах в результате ларамийского орогенеза. В эоценовую эпоху возникают такие крупные бассейны, как Грин-Ривер и Вошейки (штат Вайоминг), Пайсенс-Крик (штат Колорадо), Уинта (штат Юта) и др. Мощные сланценозные отложения на протяжении 10 млн. лет заполняли межгорные впадины.

Кероген имеет неароматическую структуру, содержит дикарбоновые кислоты. Пиролиз при 500 °С показал выход (%): смолы – 66, газа – 9, воды – 5 и углекислого остатка – 20. Кероген является макромолекулярным веществом, имеет линейно-конденсированное, насыщенное циклическое строение с гетероатомами кислорода, азота и серы. Элементарный состав (%): С – 80,5; Н – 10,3; N – 2,4; О – 5,8 и S – 0,1.

Содержание ОВ в горючих сланцах 8–50 % Распределение его неравномерно, выделяются пласты, богатые и бедные керогеном. Пласты сланцев не выдержаны, количество их в разрезе отдельных бассейнов достигает 70, а мощность варьирует от нескольких метров до 600 м и более. Выход смолы 3–15 %. Теплота сгорания 3340–8373, в среднем 6280 кДж/кг.

Запасы смолы в сланцах Грин-Ривер определены в 1200 млрд тонн.

Сапропелевый тип. P2.

Формация сузакских горючих сланцев Узбекистана и Таджикистана. Формация широко распространена на территории Узбекистана и Таджикистана, в предгорной части Гиссарского хребта.

Отложения эоцена представлены глинами, мергелями и горючими сланцами. Образование горючих сланцев Байсунского месторождения Узбекистана происходило в неглубоком морском бассейне. Месторождение расположено на северо-западном крыле Байсунской синклинали. На территории Таджикистана горючие сланцы сузакского слоя приурочены к Южно-Таджикской депрессии. В Узбекистане на Байсунском месторождении среди глин залегает пласт сланца мощностью 0,40–0,72 м, а в Таджикистане в аналогичных геологических условиях залегают два пласта горючих сланцев мощностью 1 и 2 м. Горючие сланцы близки по составу (%): влага – 1,6–11,2, зола – 62–89, сера – 4,0–5,9. Теплота сгорания 6280–13400 кДж/кг. Выход смолы на сланец – 4,0–11,8 %. Выход летучих веществ – 26–36 %.

Сланцы распространены на обширной площади. При комплексной разработке сланцы данной формации могут оказаться прочной базой получения химических продуктов и извлечения ценных металлов, а на основе минеральной части – производства аглопорита, каменных литых изделий и др. Сланцесмоляные продукты пригодны для получения гербицидов и других продуктов для нужд сельского хозяйства. В зоне выветривания сланцы заметно беднее.

Запасы сланцев в пределах изученных площадей по Узбекистану 1392 млн тонн, по Таджикистану – 2902 млн тонн.

Сапропелево-гумусовый тип. P-N. Формация фушуньских угольно-сланценозных отложений Китая. Фушуньская формация угольно-сланценозных отложений КНР распространена на обширной площади на северо-востоке, в провинции Ляонин, и на юге, в провинции Гуандун и в Гуанси-Чжуаиском автономном районе. В этих провинциях известны промышленные угольно-сланцевые месторождения, образованные в палеоген-неогеновый период, близкие по составу и качеству.

Качество горючих сланцев (%): влага – 5, зола – 78–80, содержание ОВ в сланцах – 25; теплота сгорания 3300–6200 кДж/кг. Выход смолы 3–7, реже 10–15 %. Смола высокопарафинистая (15–17 % парафинов). Выход газа на 1 тонну сланца 42 м³. Химический состав золы (%): SiO₂ – 62,3; Al₂O₃ – 26,7; Fe₂O₃ – 61; CaO – 0,10; MgO – 1,8.

В нижней части сланценозной толщи имеется много остатков растений.

В сланцах Фушуньского месторождения содержатся такие химические элементы, как торий – 0,2 %, ниобий и тантал – 0,1–0,3 %, молибден и вольфрам.

В течение многих лет сланцы подвергают термической переработке, в результате чего получают бензин, парафин, дизельное топливо и другие продукты.

Прогнозные запасы горючих сланцев Фушуньского месторождения оцениваются в 360 млрд тонн.

«Торфяная» стадия водорослевых сланцев. Кайнозой. Q4. В современных лагунных и озёрных условиях происходит процесс образования балхашита и коронгита –

представителей начальной стадии зарождения водорослевого керогена. Образование балхашита и коронгита происходит в водной среде с различным рН в аэробных условиях.

Образование коронгита и, вероятно, балхашита протекает в такой последовательности: сначала бактерии в аэробных условиях преобразуют водорослевый материал, что сопровождается возникновением масляной плёнки на поверхности воды; скапливается гелеобразная масса липидного состава, ОВ сгущается, полимеризуется и твердеет с превращением в плотную массу, одновременно уменьшается ненасыщенность, увеличиваются инертность и нерастворимость.

Элементарный состав (%): коронгита – С – 77,5; Н – 11,0; N+S – 0,60–1,5; балхашита – С – 73,76; Н – 10,61; О – 13,74; N+S – 1,59.

Коронгит и балхашит представляют собой раннюю стадию образования водорослевого керогена и что их основными характерными чертами являются избыточная, липидная природа матрицы водорослевых плюсок и высокая химическая ненасыщенность. Образования коронгита и балхашита самостоятельного промышленного значения не имеют. Они, прежде всего, представляют интерес для научных исследований.

Фаии и ритмы сланценакопления

Сланценозные толщи большинства известных месторождений имеют сложное строение за счёт повторяющихся в разрезе определённых комплексов пород, образованных в процессе седиментации осадков. В период сланценакопления имело место проявление макро- и микроритмов, что послужило частому переслаиванию слоёв или прослоев горючего сланца и вмещающих пород. Количество слоёв сланцев в разрезе некоторых сланценозных толщ нередко достигает нескольких десятков, они имеют различный состав и мощность. В одном случае слои расположены сближенно, в другом – разобщены межпластовыми прослоями пород различной мощности. Прослой так называемых пустых пород нередко содержат ОВ в повышенном количестве, иногда в виде незначительной примеси или оно почти полностью отсутствует. Пласты, слои и прослой сланцев непрерывно прослеживаются на всей площади сланценозной толщи или имеют прерывистое строение и изменчивые мощность и состав.

Характер проявления седиментационных ритмов зависит от многих факторов, прежде всего от физико-географических и, особенно, тектонических условий района сланценакопления. Выявление общей закономерности формирования полезной толщи представляет практический интерес для перспективной оценки запасов сланцев определённого месторождения или бассейна.

Фация грин-риверских сланценозных отложений в эпоху эоцена образовалась в течение 4–6 млн лет на площади около 14 млн км² в четырёх структурных бассейнах (Грин-Ривер, Уинта, Пайсенс-Крик и Вошейки) в озерных условиях. В общей сложности грин-риверские отложения по мощности колеблются от нескольких метров до 1 км. Они сложены осадками озерного и речного происхождения, среди которых выделяются и соленосные свиты.

В западной части Прибалтийского бассейна в кукерском горизонте среднего ордовика на основании фациальных различий отложений можно выделить четыре пачки (снизу вверх):

- 1) харьюская, состоящая из синевато- и зеленовато-серых, реже коричневатых тонкослоистых комковатых известняков с тонкими прослоями кукерсита;
- 2) кивиыльская, с мощными прослоями горючих сланцев, чередующимися с коричневатато-серыми комковатыми известняками;
- 3) хумалаская, представленная тонким переслаиванием маломощных прослоев кукерсита и мергелистых синевато-серых и коричнево-серых известняков;
- 4) савалаская, состоящая из коричнево-серого комковатого известняка с многочисленными ходами червей и средними тонкими прослоями горючих сланцев.

Строение промышленного пласта горючих сланцев кукурузского горизонта сложное. Довольно частое чередование слоёв сланца и прослоев известняков различной мощности свидетельствует о частой смене ритмов сланценакопления. Процесс сланценакопления был длительным. Северо-Эстонский прогиб за время своего существования не оставался неподвижным. С.С. Бауков считает, что биологическая продук-

тивность в среднеордовикском море была большой. В сланценой толще мощностью 20 м на площади 100 тыс. км² захоронено Сорг в количестве не менее 200 млрд тонн, в том числе 40–50 млрд тонн сконцентрировано в слоях и примерно 150 млрд тонн рассеяно в карбонатных породах.

В сланценовых осадках кукерского горизонта среднего ордовика Прибалтийского бассейна накопление ОВ происходило в течение длительного времени с ритмично чередующимися слоями горючего сланца и прослоев карбонатных пород, что придаёт сланценовой толще сложное строение (рис. 3): в ней насчитывается 28–30 слоёв горючего сланца различной мощности и различного содержания ОВ.

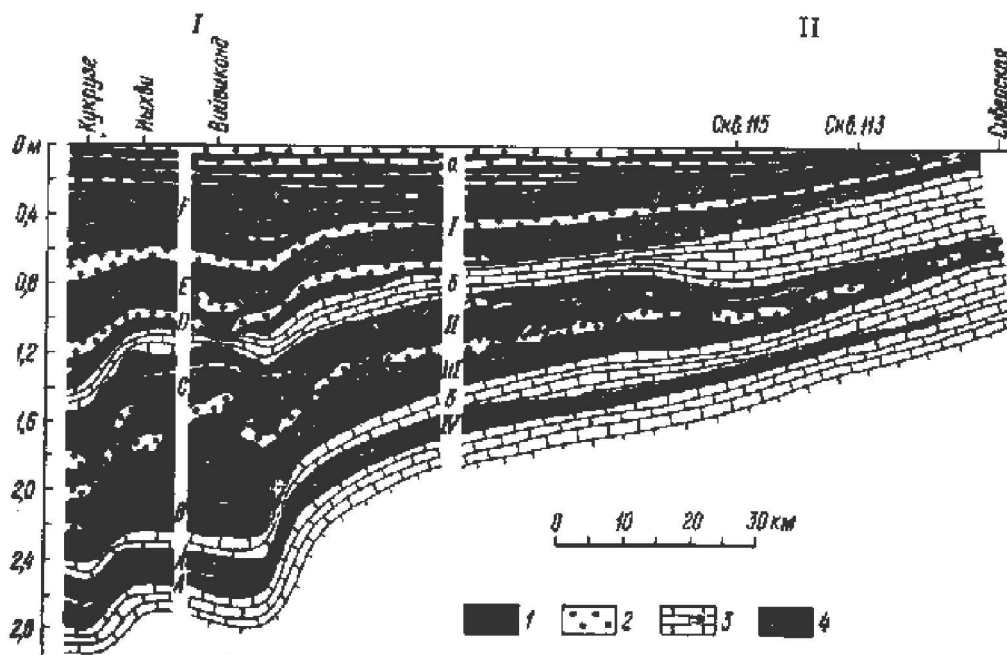


Рисунок 3 – Строение промышленной пачки горючих сланцев Прибалтийского бассейна (широтный профиль):

1 – горючий сланец, кукерсит; 2 – известняк с включениями кукерсита; 3 – известняк; 4 – сланец с конкрециями. I и II – Эстонское и Ленинградское месторождения

Сланценовые отложения известны в южной предгорной части Главного Кавказского хребта. Кроме пяти известных месторождений горючих сланцев проявление сланценовости установлено в различных районах Грузии. Сланценовые толщи мезозойско-кайнозойского возраста, состоящие из песчано-глинистых, известняковых и мергелистых пород, содержащих горючие сланцы, несогласно залегают на размытых сильно дислоцированных древних образованиях фундамента. Мезозойско-кайнозойский комплекс (юрские, меловые, палеогеновые и неогеновые отложения), выполняющий Закавказскую межгорную впадину, располагается между Большим и Малым Кавказскими хребтами в зоне интенсивных тектонических прогибаний.

Из всех известных месторождений горючих сланцев наиболее изученным является Джварское. Сланценовые отложения юрско-мелового комплекса Джварского месторождения несогласно залегают в антиклинальной складке северо-восточного простирания на древних образованиях фундамента. В геологическом строении района месторождения участвуют породы юрского осадочного комплекса (снизу вверх):

1) свита порфиритовая – порфириды, туфы, туфобрекчии, туфогенные песчаники, слюдястые песчаники и глинистые сланцы с прослоями туфогенных песчаников (мощность 180–250 м);

2) сланценовая свита – листовые глинистые сланцы с прослоями туфов, аркозовых песчаников и горючих сланцев. Сланцы содержат глинисто-известковые конкреции (мощность 130 м);

3) угленосная свита – песчаники, алевролиты и аргиллиты с прослоями и пластами углей;

4) пестроцветная толща – песчаники, глинистые породы и мергели.

Горючие сланцы тонкослоистые, чёрного цвета. В пелитовой основной массе содержатся ОВ, глинистые минералы и мелкие чешуйки биотита, мусковита, а также обломки кварца, полевого шпата. Площадь распространения сланцев – около 10 км². В.И. Конивец в сланцевой толще выделил три горизонта (табл. 2):

Таблица 2 – Количество и мощности пластов горючих сланцев Джварского месторождения

Продуктивный горизонт	Мощность горизонта, м	Количество пластов	Мощность пластов, м	Суммарная мощность пласта, м	Расстояние между горизонтами, м	Состав породных прослоев
Верхний	10,20	5	0,70–2,46	7,55	17,40	туфы
Средний	8,80	8	0,40–1,10	5,55	–	туфы и песчаники
Нижний	14,85	9	0,30–1,15	6,40	30,00	туфы и алевролиты
Итого	33,85	22	–	19,50	–	–

Горючие сланцы распространены во многих районах Восточного Забайкалья. Образование сланценосных толщ связано с верхнемезозойским континентальным комплексом отложения. Угленосные и сланценосные отложения верхнего мезозоя имеют преимущественно песчано-алевритовый и алеврито-аргиллитовый состав.

В основании континентальной толщи средней юры залегают отложения калганского горизонта нижней юры, затем следуют среднеюрские угленосные отложения тургайского горизонта, на которых залегают верхнеюрский комплекс пород, а на последних согласно лежат нижнемеловые осадки. Мощность разреза верхнемезозойских осадков в различных районах 1050–3000 м.

Верхнемезозойские отложения накапливались в многочисленных ранее образованных впадинах мезозойской складчатости. В остаточных впадинах восточных окраин территории Восточного Забайкалья происходило накопление триасовых, ниже- и среднеюрских морских осадков, а в образованных межгорных троговых впадинах – мезозойских континентальных отложений, в том числе горючих сланцев и угля. Сланценосные отложения позднеюрского и раннемелового возраста залегают либо в виде самостоятельных толщ, либо внутри угленосных толщ, либо со стороны лежащего бока пластов угля.

Накопление угля и сланцев происходило в крупных пресноводных озёрных водоёмах в условиях умеренного теплого климата. Толща сланцев содержит остатки и отпечатки растений, ганоидных рыб, насекомых, пелеципод, гастропод, костей динозавров, остатки зеленовато-синих водорослей. Изменение климатических и тектонических условий в ранне-среднеюрский период вызвало обмеление водных бассейнов и способствовало накоплению в них гумусового материала. Наличие в разрезе полезной толщи пластов угля, и пластов, и линз горючих сланцев свидетельствует об изменении режима отложений.

ОВ горючих сланцев представлено остатками мельчайших зеленовато-синих планктонных водорослей и незначительным количеством мелкого растительного детрита. Глинистая часть сланцев имеет каолиновый состав. Содержатся обломки кварца, полевого шпата, чешуйки слюд, хлорит, серицит.

Из числа известных многочисленных месторождений сланцев и угля поздне-мезозойского возраста Восточного Забайкалья наиболее типичным примером может служить Гусиноозёрское месторождение.

Гусиноозёрская впадина является составной частью Гусиноозёрско-Удинской депрессии. Во впадине на размытой поверхности сильно дислоцированных пород фундамента залегают континентальные угленосные отложения верхнего мезозоя. Синклиальная структура впадины осложнена вторичными тектоническими нарушениями, что привело к образованию в угленосной толще ряда мелких антиклиналей и синклиналей. Горючие сланцы залегают в нижней части разреза угленосной нижне-холбольджинской подсвиты. Пласты сланцев в виде небольших залежей залегают в кровле угольных пластов или подстилают пласты угля. Кроме того, наблюдается пере-

слаивание тонких прослоек сланца и аргиллита. Мощность пластов сланца 0,12–2,0 м. Содержание ОВ в сланце около 40 %. Сланцы сернистые ($S_{\text{общ}}$ 6,1 %). Гуминовых кислот содержится около 6 %.

Геотектонические типы месторождений горючих сланцев

Накопление сланценосных отложений происходило в различных геотектонических условиях. В одних случаях накопление ОВ было тесно связано с геосинклинальным режимом, в других – с типично платформенными или промежуточными условиями.

Геосинклинальный тип месторождений горючих сланцев встречается в геосинклинальных областях палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Возникшие складчатые структуры при наличии благоприятных палеогеографических условий способствовали сланцеобразованию. Важную роль в накоплении ОВ в этих условиях играли межгорные впадины и краевые прогибы. Для геосинклинального типа месторождений характерны обширная (100 тыс. км² и более) площадь распространения сланценосных толщ, значительная (600–1000 м) мощность полезных толщ, большое количество пластов горючих сланцев, нередко, выдержанных по разрезу, наличие равномерно распределённого ОВ во всех породах толщи с некоторым увеличением или уменьшением концентрации его в отдельных горизонтах, преимущественно пластовая форма залежей. Запасы горючих сланцев составляют десятки и сотни миллиардов тонн.

В качестве примера геосинклинального типа может служить месторождение Мидлэндской долины. Накопление осадочного комплекса пород, содержащих ОВ горючих сланцев, в Мидлэндской долине Шотландии тесно связано с развитием тектонических структур и вулканической деятельностью в палеозойскую эру. Формирование сланценосной толщи совпадало с максимальным оседанием слагающих район пород. Сланценосная толща шотландской свиты в нижней части разреза представлена глинистым известняком, а в верхней – известковистым песчаником визейского яруса.

Платформенный тип месторождений горючих сланцев приурочен к мелководным областям распространения древних и эпипалеозойских платформ. Сланценакопление в большинстве случаев происходило в мелководном морском бассейне в условиях сравнительно спокойного платформенного геотектонического режима во впадинах, прогибах, а в отдельных районах – в поднятиях и сводах платформенных структур. ОВ сапропелево-гумусового или гумусово-сапропелевого состава накапливалось в открытых или полузакрытых бассейнах нормальной солёности и нормального газового режима в карбонатных, глинистых или карбонатно-глинистых илах. В отдельные геологические эпохи, например в поздней юре, накопление ОВ захватывало обширные площади. Развитие колебательных движений малой амплитуды приводило к проявлению ритмичности осадконакопления. Кроме того, вследствие неравномерности поднятия отдельных частей платформ возникали обособленные площади сланценакопления с определённым гидрохимическим режимом.

Форма залегания горючих сланцев пластовая, пластообразная и линзовидная. Залегание пластов горизонтальное или пологое. Глубина залегания сланценосных горизонтов от нескольких десятков метров до 1,0–1,5 км и более. Мощность сланценосных толщ от нескольких метров до 1 км. Количество пластов в разрезе сланцевой толщи 3–20 и больше. Промышленное значение чаще всего имеют значительно меньшее количество пластов (3–5, реже больше). В некоторых горизонтах насчитывается до 100 маломощных слоёв горючих сланцев. Сближенное расположение их не исключает возможности промышленного использования всей сланценосной; толщи или валовую выемку её части. Мощность пластов сланцев от 10–40 см до 1–3 м, значительно реже 5–8 м. Во многих случаях пласты сланцев выдержаны по мощности.

Строение сланценосной толщи – от простого до сложного, с многочисленными межпластовыми прослоями пород (песчаники, глинистые сланцы, известняки, мергели), в той или иной степени содержащих ОВ. Качество сланцев в разрезе толщи различное. В некоторых месторождениях нижние пласты богаче ОВ, чем лежащие выше. Пласты сланцев выдержаны по мощности и качеству с тенденцией постепенного изменения этих показателей к периферии залежи или бассейна.

В разрезе толщи отдельных месторождений содержатся пласты угля. Теплота сгорания сланцев 6280–10467, редко 16747–18850 кДж/кг. Выход смолы 10–20, значительно реже 25–30 %. Запасы сланцев – от нескольких миллионов до десятков и даже

сотен миллиардов тонн в крупных сланценосных бассейнах, В сланценосных толщах некоторых месторождений наблюдаются проявление дизъюнктивных нарушений, интенсивные размывы и карстообразование.

При наличии в горючих сланцах того или иного месторождения данного типа сопутствующих (генных) компонентов, например урана, значительно повышается их промышленная значимость. Химический состав минеральной части горючих сланцев разнообразен – карбонатный, алюмосиликатный и алюмосиликатно-карбонатный, что позволяет рассчитывать на максимальное использование зольных отходов в производстве разнообразных строительных материалов.

На территории Иркутского угольного бассейна известно немало месторождений горючих сланцев, приуроченных к юрским угленосным отложениям. Бассейн расположен в пределах южной части Среднесибирского плоскогорья. Угле- и сланценосные отложения юры несогласно залегают на дислоцированных и размывных породах фундамента.

В пределах бассейна среди юрского комплекса осадочных образований выделено три свиты:

1) заларинская (J1) (мощность 30–150 м) состоит из конгломератов и эффузивов и относится к фации горного руслового аллювия;

2) черемховская (J1–J2) (мощность до 300 м) представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, углями и сланцами, которые соответствуют аллювиальным фациям;

3) присаянская (J2) состоит из песчаников, аргиллитов, гравелитов и угля.

Горючие сланцы Иркутского бассейна являются полиаморфными, это смешанный сапропелево-гумусовый тип, содержащий включения растительного детрита и типично сапропелевого материала.

Промежуточный тип месторождений горючих сланцев образовался в переходных условиях – от геосинклинальной области к континентальным платформам. Характерными особенностями данного типа является огромная площадь распространения сланценосных отложений, изменчивость литологического состава продуктивной толщи, наличие значительного количества маломощных пластов и прослоев горючих сланцев, непостоянство их мощности и невыдержанность по площади. Мощность сланцевой толщи от 10–55 м и более. Количество пластов и прослоев 3–50 и более, мощностью обычно 0,10–0,70 м, за редким исключением больше. Отдельные пласты или прослои сланцев по простиранию или падению замещаются смещающими породами.

Состав горючих сланцев в пределах одного и того же бассейна и месторождения различный: карбонатные, кремнисто-битуминозные, известковисто-глинистые, известковисто-кремнистые. Содержание ОВ 10–15, очень редко 20–25 %. Кероген образует мелкие включения, тонкие прожилки, концентрации линзовидной формы и т.д. ОВ в толще распределено неравномерно. В большинстве случаев сланцы пиритизированы.

ОВ сапропелево-гумусового и гумусово-сапропелевого состава. Элементарный состав (%): С – 63–73; Н – 7–10; S – 0,3–2,0; О – 10–15 и N – 2–8. Теплота сгорания 4186–8373 кДж/кг. Выход смолы 3–10 %. Содержание фенолов в смоле некоторых месторождений 7–10 %.

Горючие сланцы франского яруса среднего девона Южного Приуралья (доманиковые отложения) приурочены к переходной зоне – от Русской платформы к Уральской складчатой зоне. Доманиковые отложения представлены переслаивающимися известняками, известково-глинистыми и горючими сланцами, мергелями и кремнями, в различной степени содержащими ОВ. В районах Ухтинской складки (Коми) мощность доманиковой сланценосной толщи 47,7 м. В толще насчитывается 248 прослоев осадочных пород, в том числе 163 пласта и пропластка горючих сланцев. Последние тонкоплитчатые, кремнистые, известково-кремнистые и известковисто-глинистые. Мощность прослоев сланцев 0,03–0,72 м. Наибольшее количество ОВ содержится в чёрных сланцах, меньше в тёмно-коричневых, наименьшее – в светлых.

Форма залежей горючих сланцев

Возникшие в определённые геологические периоды региональные и локальные структуры горных пород под воздействием тектонических или иных проявлений оказы-

вали влияние на форму и размеры сланценосных отложений. На возникновение определённой формы залежей горючих сланцев влияла также физико-географическая среда определённого периода. Характерными типами залежей горючих сланцев являются пластообразный, линзообразный, мульдообразный, кальдеровидный и др. Сланцы встречаются в виде пластов, слоёв, прослоев, выдержаны в залегании с изменчивой мощностью по простиранию и падению. Пласты сланцев расположены сближение или отделены друг от друга прослоями пустых пород. ОВ равномерно или неравномерно с чёткими границами с вмещающими породами или с постепенными переходами распределено в отложениях всей толщи.

Сланценосные толщи, а также залегающие в них залежи в одном случае без резкого изменения в строении и состава распространены на значительной площади, в другом имеют прерывистое строение, претерпели тектонические нарушения и спокойно залегают без видимых признаков смещения. В некоторых залежах, особенно залегающих в известняках, доломитах или переходных между ними разновидностях пород, наблюдается проявление карста.

Пластообразный тип залежей горючих сланцев, имеющих горизонтальное или пологое залегание. Залежи представлены одним или несколькими пластами или слоями. Одни из пластов сланцев выдержаны по мощности и прослеживаются без каких-либо признаков изменения, другие имеют прерывистое строение или подвергнуты тектоническим нарушениям.

Айювинское месторождение верхнеюрских горючих сланцев приурочено к пологой синеклизе. Залегание сланценосной толщи почти горизонтальное (рис. 4). Горючие сланцы не имеют резких контактов с вмещающими их породами – мергелями и глинами. Общая мощность сланценосной свиты – 19 м. Пласты горючих сланцев хорошо выдержаны по мощности (0,6–7,0 м) на всей площади распространения. Разрез сланценосной толщи по р. Айюве:

• горючий сланец	0,03
• зелёный мергель	0,90
• горючий сланец, IV пласт	0,85
• зелёный мергель	1,2
• горючий сланец, III пласт	0,90
• глина тёмная, мергелистая	1,2
• горючий сланец, II пласт	0,95
• глина тёмно-серая	1,50
• горючий сланец, I пласт с прослоями глины	7,0

Сланценосные отложения нижневолжского яруса верхней юры Ибского месторождения Сысольского района Коми по литологическому составу хорошо выдержаны на всей площади района. Мощность продуктивной толщи 90 м. В ней выделено две зоны – известковистых глин и глинистая. В первой (верхней) залегают один пласт горючего сланца, во второй – четыре.

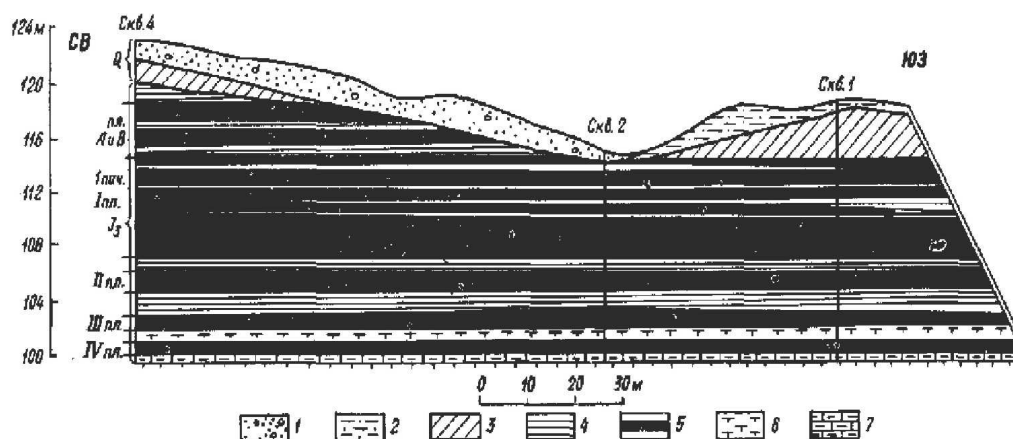


Рисунок 4 – Геологический разрез Айювинского месторождения горючих сланцев:

1 – песок с гравием; 2 – песчаные глины; 3 – глины; 4 – глины и глинистые сланцы; 5 – горючие сланцы; 6 – глины известковистые; 7 – мергель

Пласты горючих сланцев выдержаны по мощности и разделены прослоями пустых пород. Мощность пласта I на отдельных участках 0,20–2,0, в среднем – 0,50 м, пласта II – 0,25–1,7, в среднем – 0,80 м; пласта III – 0,30–2,20, в среднем – 1,15 м; пласта IV – 0,25–4,0 в среднем – 2,30 м. Пласт V, залегающий в известковистых глинах, имеет ограниченное распространение.

Мульдообразный тип залежей горючих сланцев встречается не так часто. Образование его тесно связано с тектоническими структурами, возникшими в подстилающем комплексе пород до начала накопления ОВ, или в процессе сланценакопления, или же за счёт характера палеорельефа дна бассейна.

Озинковское месторождение, горючих сланцев нижневолжского яруса верхней юры, расположенное на территории России в области склона древней Русской платформы, приурочено к трём куполовидным соленосным структурам. Сланценосная свита (мощность 48 м) имеет мульдообразный характер залегания. На крыльях купола углы падения сланценосных отложений увеличиваются до 25°, а в сводовой части соляного купола не превышают 10°. Залегание пластов сланца спокойное, но на отдельных участках наблюдаются разрывные нарушения. В разрезе свиты отмечается циклическое строение: горючий сланец – глинистый горючий сланец – сапропелевая глина – мергелистая глина. Эти циклы, мощностью 2,5–7,5 м, повторяются шесть раз. В свите залегают восемь пластов горючего сланца мощностью 0,25–4,2 м (рис. 5). Пласты сланцев сложного строения, состоят из нескольких пачек, которые в свою очередь нередко разделены на отдельные слои глинами сапропелевого или мергелистого состава. Образование горючих сланцев происходило вблизи берега мелководного открытого моря в подводных впадинах. Циклическость в литологическом составе сланценосной свиты указывает на пульсирующий характер колебательных движений в период накопления ОВ. Качество пластов сланца различное. Теплота сгорания 3930–12560 кДж/кг. Выход смолы 5–14 %. Сланцы многосернистые ($S_{\text{общ}}$ 3,8–12 %).

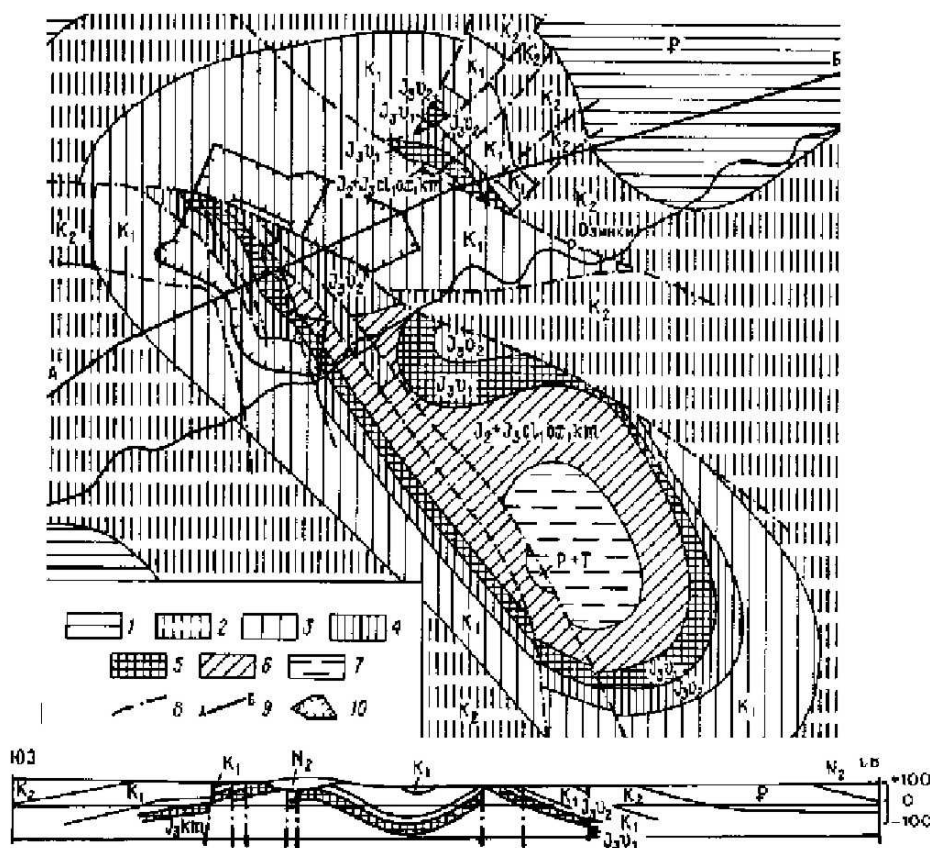


Рисунок 5 – Геологическая карта Озинковского месторождения горючих сланцев:

- 1–7 – отложения:
 1 – палеогеновые; 2 – верхнемеловые; 3 – нижнемеловые; 4 – верхневолжский ярус верхней юры;
 5 – нижневолжский ярус верхней юры; 6 – средне-верхнеюрские – батский, келловейский, оксфордский и киммериджский ярусы; 7 – пермские + триасовые; 8 – тектонические линии; 9 – линия разреза;
 10 – шахтное поле

Мульдообразный характер залегания имеет сланценосная толща нижневолжского яруса верхней горы Савельевского месторождения Волжского бассейна. Площадь месторождения приурочена к большому брахиантиклинальному поднятию с рядом мульдообразных понижений, осложнённых сбросами. В центральной части мульды угол падения 1–3°, на краях 15–20°. Литологический состав продуктивной свиты однообразен – на глины приходится 82, на горючие сланцы 18 %. Пласты имеют сложное строение – мощность увеличивается от периферии к центру мульды, представлены несколькими слоями, разделёнными прослоями сапропелевой глины.

Линзообразный тип залежей горючих сланцев чаще всего приурочен к речным дельтам, дельтовым лагунам, озёрам и впадинам с меняющимся режимом накопления ОВ и приноса минеральной массы. Размеры таких залежей различны как по площади распространения, так и по мощности. Иногда одна линза по простиранию сменяется другой. В пределах таких линз имеется или несколько слоёв горючих сланцев, разделённых прослоями карбонатных пород, глин, или пород другого состава. Строение залежей чаще сложное. Отдельные пласты как бы расщепляются и постепенно переходят во вмещающие породы. Слои сланцев не выдержаны. Одни из них прослеживаются и сохраняют качество на значительной площади, другие не выдержаны по мощности и составу.

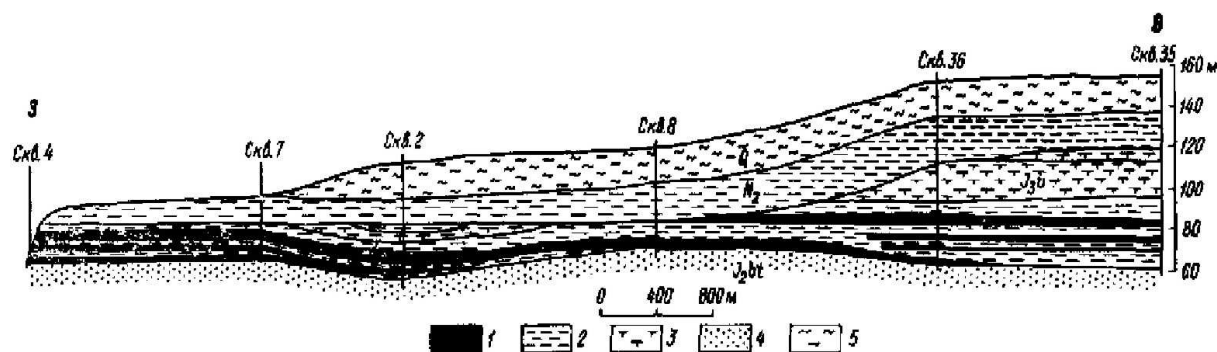


Рисунок 6 – Схематический геологический разрез по Дергуновскому месторождению:
1 – горючий сланец; 2 – глина; 3 – известковистая глина; 4 – песок; 5 – суглинок

Сланценосные отложения продуктивного горизонта нижневолжского яруса верхней юры Дергуновского месторождения Волжского бассейна приурочены к западной, опущенной зоне юго-восточного склона Русской платформы, осложнённой пологими структурами второго порядка. Мощность продуктивного горизонта 2–56 м. Залегает он почти горизонтально и содержит до четырёх пластов сланцев сложного строения (рис. 6). Каждый пласт состоит из 3–7 слоёв сланца, разделённых прослоями глин. Как пласты, так и особенно слои сланцев не выдержаны по мощности, выклиниваются, сменяются новыми слоями. Последние имеют линзовидную форму. Пласт Р1 (мощность 14 м), залегающий в нижней части разреза горизонта, состоит из семи слоёв горючего сланца мощностью 0,17–5,3 м, разделённых прослоями глин. Пласт Р2 (мощность 18 м) состоит из четырёх слоёв сланца мощностью 0,17–5,1 м. Пласт Р3 (мощность до 1,5 м) состоит из трёх слоёв сланца мощностью 0,13–1,225 м. Верхний пласт Р4 (средняя мощность 6,12 м) включает три слоя сланцев мощностью 0,2–1,05 м.

Чаше- или блюдцеобразный тип залежей горючих сланцев меньше распространён. Накопление ОВ происходило во впадинах тектонического происхождения, кальдерах, межгорных бассейнах или впадинах оседания. В плане залежи могут иметь замкнутую овальную форму или быть вытянуты в одном из направлений. В большинстве случаев это впадины крупных размеров по площади и на глубину. Сланцевые залежи имеют значительную мощность, разнообразный сложный литологический состав пород и отличаются неоднородностью петрографического и химического состава. В отдельных случаях залежи такого типа обладают крупными запасами горючего сланца и содержат некоторые пласты или горизонты высокого качества.

Болтышское месторождение горючих сланцев приурочено к глубокой впадине в докембрийских кристаллических породах Украинского массива. По мнению одних исследователей, образование впадины связано с проявлениями тектонических нарушений

в виде ступенчатых сбросов, по мнению других – впадина представляет собой кальдеру обрушения на месте вулкана. Впадина имеет округлую замкнутую форму диаметром 20–25 км и глубиной свыше 500 м (рис. 7). Площадь её около 400 км². Склоны впадины пологие. Форма сланценовой толщи чаше- или блюдцеобразная. Дно впадины почти горизонтальное. В центре впадины зафиксирован выступ гранитов, что также повлияло на строение залежи. Слои сланцев образуют пологое куполообразное поднятие. К бортам впадины мощность залежи постепенно уменьшается, и затем она выклинивается.

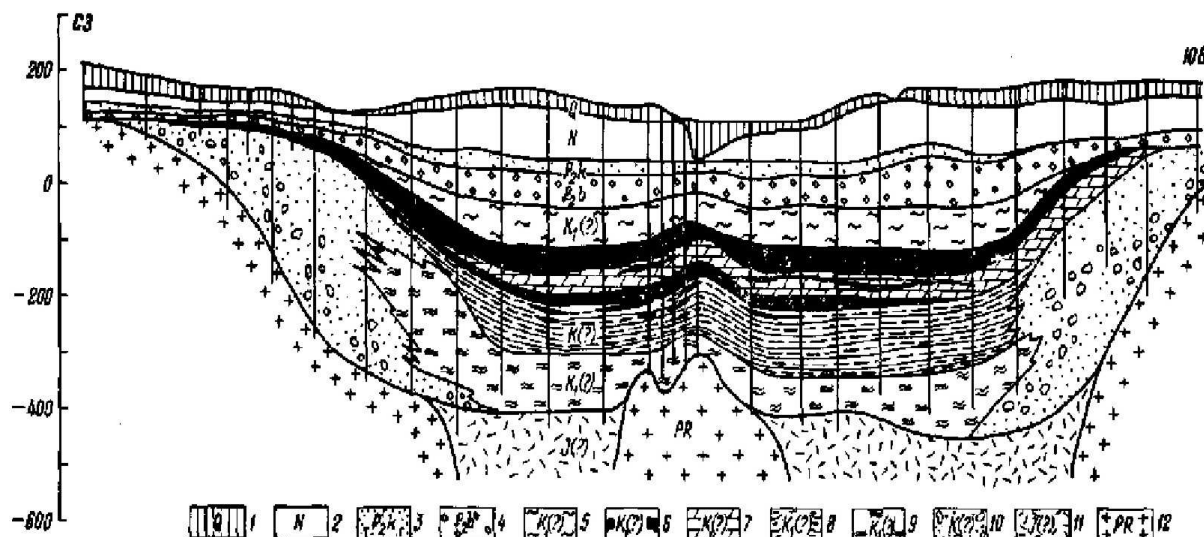


Рисунок 7 – Геологический разрез Болтышского месторождения горючих сланцев:

- 1 – суглинки, красно-бурые глины, пески (четвертичная система);
- 2 – пески светлые с прослоями глин и песчаников (неогеновая система);
- 3 – мергель, пески кварцево-глауконитовые (киевская свита);
- 4 – глины тёмные, пески углистые, алевриты (бучакская свита);
- 5 – глины аргиллитоподобные тёмно-серые, слюдястые (меловая система);
- 6 – горючие сланцы с прослоями битуминозных глин (меловая система);
- 7 – битуминозные глины с прослоями мергелистых глин (меловая система);
- 8 – глинистые сланцы тонколистоватые, с прослоями алевритов (меловая система);
- 9 – алевриты, алевролиты, песчаники (меловая система);
- 10 – крупнозернистые пески с глыбами и обломками кристаллических пород;
- 11 – эффузивы кислого состава (юрская система);
- 12 – граниты, мигматиты, гнейсы (протерозойская группа)

Кальдеровидный морфологический тип горючих сланцев представляет собой или отдельную обособленную, или серию близрасположенных впадин различных размеров, образованных в результате медленного погружения и постепенного заполнения морскими, озерными или речными осадками, или теми и другими. Впадины на соответствующих этапах развития могли соединяться и разобщаться под влиянием горообразовательных процессов. Частая смена фаций привела к сложному строению залежей сланцев. Нередко морские отложения сменялись озёрными, а последние речными. Представителем данного типа могут служить месторождения штатов Колорадо, Юта и Вайоминг (США).

Сланценовые отложения формации Грин-Ривер залегают в четырёх структурных бассейнах – тектонических впадинах. Мощность отложений 100–1000 м. Горючие сланцы переслаиваются глинистыми известняками, глинистыми сланцами, аргиллитами, известняками, песчаниками, туфами, троновыми, водорослевыми, остракодовыми и моллюсковыми известняками. Сланценовая толща в отдельных районах имеет котловинообразную форму (рис. 8).

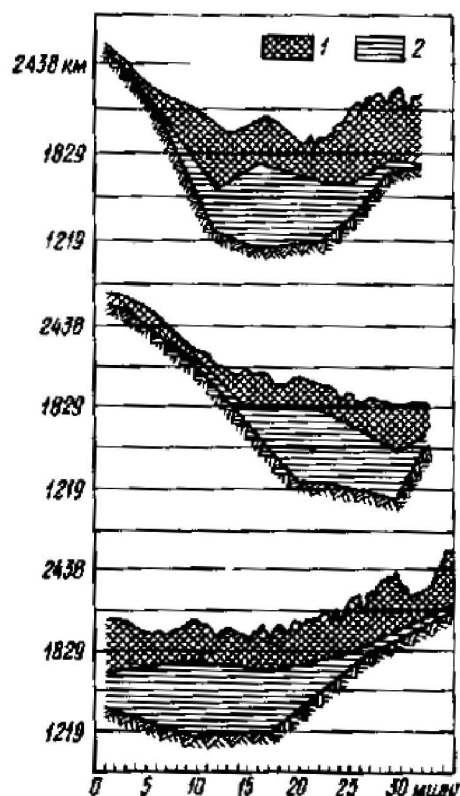


Рисунок 8 – Геологические разрезы бассейна Пайсенс-Крик:
1 – перекрывающие породы; 2 – сланец с выходом смолы более 105 л/т

Литература:

1. Зеленин Н.И., Озеров И.М. Справочник по горючим сланцам. – М. : Издательство Недр, 1983. – 248 с.
2. Старостин В.И., Игнатов П.А. Геология полезных ископаемых. – М. : Издательство Академический Проект, 2004. – 512 с.
3. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твёрдых полезных ископаемых. – М. : Издательство МГГУ, 2004. – Том II. – 512 с.
4. Минералы : справочник. – М. : Издательство Академии наук СССР, 1963. – Том II: Галогениды. – 296 с.
5. Технология добычи, переработки и обогащения энергетического сырья (горючих сланцев) Республики Коми с использованием кернов. – URL : http://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65625a3bc78a5c53a88421316c26_0.html
6. Антониади Д.Г., Савенок О.В., Шостак Н.А. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений : учебное пособие. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2011. – 203 с.
7. Попов В.В., Богуш И.А., Третьяк А.Я., Лаврентьев А.В. Поиски, разведка и эксплуатация месторождений нефти и газа : учебное пособие. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 322 с.
8. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Состояние, тенденции и перспективы выработки запасов углеводородов из сланцевых отложений // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014. – № 4. – С. 39–51.
9. Арутюнов Т.В., Арутюнов А.А., Савенок О.В. Перспективы разработки месторождений сланцевых отложений // Фундаментальные проблемы науки : сборник статей Международной научно-практической конференции (23 января 2015 года). – Уфа : РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015. – С. 126–135.
10. Арутюнов Т.В., Арутюнов А.А., Савенок О.В., Моллаев З.Х. Методология оценки ресурсов сланцевых отложений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М. : Издательство Горная книга, 2015. – № 3. – С. 266–271.

11. Арутюнов Т.В., Арутюнов А.А., Савенок О.В. Постановка задачи физико-химического моделирования сланцевых пород // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – М. : Издательство Ай Ди Эс Дриллинг, 2015. – № 1. – С. 42–47.

12. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Исследование сланцевых пород и природы сланцевой нефтеносности баженовской свиты и формации Баккен // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – № 1. – С. 28–46.

13. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Особенности строения месторождений сланцевых отложений // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящённого 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией (6–10 апреля 2015 года). – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – Том II. – С. 385–387.

14. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Анализ характеристик геологического строения и коллекторских свойств сланцевых отложений // Научно-технический журнал «Нефть. Газ. Новации». – Редакция журнала «Нефть. Газ. Новации», 2015. – № 4/2015. – С. 72–76.

15. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Принципы моделирования поровой структуры сланцевых пород : XIII Международная научно-практическая конференция «Современные концепции научных исследований» (Россия, г. Москва, 29–30 апреля 2015 года) // Ежемесячный научный журнал № 4 (13) / 2015. – М. : Евразийский союз учёных, 2015. – Часть 11. – С. 103–109.

16. Арутюнов Т.В. Условия накопления и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири // Современные тенденции развития науки и технологий : сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции (30 июня 2015 года) : в 6 ч. / Под общей редакцией Е.П. Ткачёвой. – Белгород : ИП Ткачёва Е.П., 2015. – Часть IV. – С. 117–126.

17. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Моделирование глинистых пород с колломорфным кремнезёмом // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – М. : Издательство Ай Ди Эс Дриллинг, 2015. – № 2. – С. 18–21.

18. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Оценка параметров порового пространства глинистых пород с целью моделирования поровой структуры сланцевых отложений // Фундаментальные и прикладные проблемы науки : Материалы X Международного симпозиума, посвящённого 70-летию Победы. – М. : РАН, 2015. Том 2. – С. 88–100.

19. Арутюнов Т.В. Сланцевый газ как перспективный вид ископаемого топлива // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – № 2. – С. 27–35.

20. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Экологические проблемы при разработке месторождений сланцевых углеводородов // Научно-технический журнал Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М. : ВНИИОЭНГ, 2015. – № 9. – С. 39–42.

21. Арутюнов Т.В., Савенок О.В., Кошелев А.Т. Разработка методологии приготовления образцов глинисто-кремнистых пород с учётом факторов неоднородности и неопределённости // Научно-технический журнал Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М. : ВНИИОЭНГ, 2015. – № 10. – С. 25–28.

22. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Технология добычи сланцевого газа и влияние на экологию // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящённого 120-летию со дня основания Томского политехнического университета (4–8 апреля 2016 года). – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – Том II. – С. 68–70.

23. Арутюнов Т.В., Савенок О.В., Шляховой Д.С. Постановка задачи экспериментальных исследований глинисто-кремнистых сланцевых пород // Научно-технический журнал Наука и техника в газовой промышленности. – М. : Издательство ОАО «Газпром промгаз», 2016. – № 2/2016. – С. 3–10.

24. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Экспериментальные исследования глинисто-кремнистых сланцевых пород с точки зрения способности создания новых поверхностей // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – М. : Издательство Нефтяное хозяйство, 2016. – № 2. – С. 38–41.

25. Арутюнов Т.В., Савенок О.В., Шляховой Д.С. Теоретическое исследование процесса формирования искусственных образцов глинисто-кремнистых сланцевых пород // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – М. : Издательство Ай Ди Эс Дриллинг, 2016. – № 3. – С. 34–39.

26. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Характеристика пород-коллекторов сланцевого газа // Технические и технологические системы : Материалы восьмой международной научной конференции «ТТС-16» (24–26 ноября 2016 года) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – С. 253–261.

27. Арутюнов Т.В. Что такое сланцевый газ // Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – № 4. – С. 19–37.

28. Арутюнов Т.В. Горючие сланцы. Сравнительный анализ // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2017. – № 02. – URL : vsn.esrae.ru/2-10 (дата обращения: 06.12.2017).

References:

1. Zelenin N.I., Ozerov I.M. Reference book on combustible slates. – M. : Publishing house Nedra, 1983. – 248 p.

2. Starostin V.I., Ignatov P.A. Geologiya of minerals. – M. : Publishing house Academic Project, 2004. – 512 p.

3. Abramov A.A. Processing, enrichment and complex use of solid minerals. – M. : MGGU publishing house, 2004. – Volume II. – 512 p.

4. Minerals: reference book. – M. : Publishing house of Academy of Sciences of the USSR, 1963. – Volume II: Halogenides. – 296 p.

5. Technology of production, processing and enrichment of power raw materials (combustible slates) of the Komi Republic with use of cores. – URL : http://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65625a3bc78a5c53a88421316c26_0.html

6. Antoniadi D.G., Savenok O.V., Shostak N.A. Theoretical bases of development of oil and gas fields : manual. – Krasnodar : Education South, 2011. – 203 p.

7. Priests V.V., Bogush I.A., Tretiak A.Ya., Lavrentyev A.V. Search, investigation and operation of oil and gas fields : manual. – Novocherkassk : YuRGPU (NPI), 2015. – 322 p.

8. Arutyunov T.V., Savenok O.V. A state, tendencies and the prospects of development of reserves of hydrocarbons from slate deposits // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Izdatelsky Dom – Yug, 2014. – No. 4. – P. 39–51.

9. Arutyunov T.V., Arutyunov A.A., Savenok O.V. Prospects of development of fields of slate deposits // Fundamental problems of science: collection of articles of the International scientific and practical conference (on January 23, 2015). – Ufa : RIO MTsII OMEGA SAYNS, 2015. – P. 126–135.

10. Arutyunov T.V., Arutyunov A.A., Savenok O.V., Mollayev Z.H. Metodologiya of assessment of resources of slate deposits // Mountain information and analytical bulletin (scientific and technical magazine). – M. : Publishing house Mountain book, 2015. – No. 3. – P. 266–271.

11. Arutyunov T.V., Arutyunov A.A., Savenok O.V. Problem definition of physical and chemical modeling of slate breeds // Scientific and technical magazine «Inzhe-ner-nefyanik». – M. : Publishing house Ai Di Es Drilling, 2015. – No. 1. – P. 42–47.

12. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Research of slate breeds and nature of slate oil-bearing capacity of the Bazhenov shale and formation Bakken // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Izdatelsky Dom – Yug, 2015. – No. 1. – P. 28–46.

13. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Features of a structure of fields of slate deposits // Problems of geology and development of a subsoil : Works XIX of the International symposium of a name of the academician M.A. Usov of students and young scientists devoted to 70-year anniversary of the Victory of the Soviet people over fascist Germany (on April 6–10, 2015). – Tomsk : Publishing house of the Tomsk Polytechnic University, 2015. – Volume II. – P. 385–387.

14. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Analysis of characteristics of a geological structure and collection properties of slate deposits // Scientific and technical magazine «Oil. Gas. Innovations». – Editorial office of the magazine «Oil Gas. Innovations», 2015. – No. 4/2015. – P. 72–76.

15. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Principles of modeling of steam structure of slate breeds: XIII International scientific and practical conference «Modern Concepts of Scientific Research» (Russia, Moscow, on April 29-30, 2015) // Monthly scientific magazine No. 4 (13)/2015. – M. : Euroasian union of scientists, 2015. – Part 11. – P. 103–109.

16. Arutyunov T.V. Conditions of accumulation and oil-bearing capacity of the Bazhenov shale of Western Siberia // Current trends of development of science and technologies : the collection of scientific works on materials III of the International scientific and practical conference (on June 30, 2015) : in 6 h / Under the general editorial office E.P. Tkachyovoy. – Belgorod : IP Tkachyova E.P., 2015. – Part IV. – P. 117–126.

17. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Modeling of clay breeds with kolloidny silicon dioxide // the Scientific and technical magazine «Inzhener-neftyanik». – M. : Publishing house Ai Di Es Drilling, 2015. – No. 2. – P. 18–21.

18. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Assessment of parameters of pore space of clay breeds for the purpose of modeling of steam structure of slate deposits // Fundamental and applied problems of science : Materials X of the International symposium devoted to the 70 anniversary of the Victory. – M. : RAS, 2015. Volume 2. – P. 88–100.

19. Arutyunov T.V. Slate gas as perspective view of fossil fuel // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Izdatelsky Dom – Yug, 2015. – No. 2. – P. 27–35.

20. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Environmental problems when developing fields of slate hydrocarbons // the Scientific and technical Protection of the Environment magazine in an oil and gas complex. – M. : VNIIOENG, 2015. – No. 9. – P. 39–42.

21. Arutyunov T.V., Savenok O.V., Koshelev A.T. Development of methodology of preparation of examples of clay and siliceous breeds taking into account factors of heterogeneity and uncertainty // the Scientific and technical Construction of Oil and Gas Wells magazine by land and by sea. – M. : VNIIOENG, 2015. – No. 10. – P. 25–28.

22. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Technology of extraction of slate gas and influence on ecology // Problems of geology and development of a subsoil : Works XX of the International symposium of a name of the academician M.A. Usov of students and young scientists devoted to the 120 anniversary from the date of foundation of the Tomsk Polytechnic University (on April 4–8, 2016). – Tomsk : Publishing house of the Tomsk Polytechnic University, 2016. – Volume II. – P. 68–70.

23. Arutyunov T.V., Savenok O.V., Shlyakhovoy D.S. Problem definition of pilot studies of clay and siliceous slate breeds // the Scientific and technical Science and technology magazine in the gas industry. – M. : JSC Gazprom promgaz publishing house, 2016. – No. 2/2016. – P. 3–10.

24. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Pilot studies of clay and siliceous slate breeds from the point of view of ability of creation of new surfaces // the Scientific and technical bulletin of JSC Rosneft. – M. : Publishing house Oil economy, 2016. – No. 2. – P. 38–41.

25. Arutyunov T.V., Savenok O.V., Shlyakhovoy D.S. Theoretical research of process of formation of artificial examples of clay and siliceous slate breeds // Scientific and technical magazine «Inzhener-neftyanik». – M. : Publishing house Ai Di Es Drilling, 2016. – No. 3. – P. 34–39.

26. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Characteristic of breeds collectors of slate gas // Technical and technological systems: Materials of the eighth international scientific TTS-16 conference (on November 24–26, 2016) / FGBOU WAUGH of «KUBGTU», KVVAUL of A.K. Serov; under the general editorial office B.H. Gaytova. – Krasnodar : Izdatelsky Dom – Yug, 2016. – P. 253–261.

27. Arutyunov T.V. What is slate gas // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Izdatelsky Dom – Yug, 2016. – No. 4. – P. 19–37.

28. Arutyunov T.V. Combustible slates. Comparative analysis // Messenger of student's science of department of information systems and programming. – 2017. – No. 02. – URL : vsn.esrae.ru/2-10 (date of the address: 12/6/2017).