



В. Н. ВОРОПАЕВ, Б. А. КЛУБОВ, К. Э. УРОВ

ЭВОЛЮЦИЯ СЛАНЦЕНАКОПЛЕНИЯ НА ВОСТОКЕ И СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СССР

На протяжении истории Земли установлено около тридцати эпох сланценакопления, которым в осадочных бассейнах различного генетического типа отвечают свои сланценозные стратиграфические уровни [1]. Большое количество информации, собранной по сланценосным бассейнам мира, позволило создать классификации, делящие эти своеобразные геологические объекты по бассейновому, формационному, породному и мацеральному принципу [2—5].

Основными осадочными формациями, содержащими горючие сланцы в таких количествах, которые позволяют рассматривать их как полезное ископаемое, являются: вулканогенно-терригенная, терригенная, флишоидная, доманикоидная и доманиковая, известняковая геосинклинальная, глинисто-известняковая платформенная. Их формирование проходило главным образом как в типичных платформенных, так и в типичных миогеосинклинальных бассейнах. Широко развиты также сланценозные осадочные бассейны, существовавшие во внешней и внутренних зонах краевых прогибов.

Первые сланценозные бассейны в северо-восточной части Азиатского континента начали формироваться в позднем протерозое в пределах обширной территории Сибирской платформы. Достоверно установлены выходы на поверхность позднепротерозойских горючих сланцев на северо-восточном склоне Алданского щита. Здесь в малгинской свите известна десятиметровая толща, содержащая прослой горючих сланцев, органическое вещество (ОВ) которых представляет собой литифицированные остатки синезеленых водорослей. Сланцы настолько обогащены ОВ, что выход смолы полукоксования из ряда проб достигает 5% [1]. В северной части Сибирской платформы в это время сланценакопление затухало, о чем свидетельствует отсутствие в кютюнгдинской, дебенгдинской и хайпахской свитах верхнего протерозоя прослоев горючих сланцев, хотя и встречаются водорослевые известняки, доломиты и переслаивающиеся с ними аргиллиты, содержащие повышенные концентрации сапропелевого ОВ. В венде область сланценакопления сместилась в район Анабарской антеклизы. По сравнению с более древними протерозойскими отложениями, в вендских возрастает содержание ОВ в мастяхской и хатыс-пытской свитах, а в туркутской свите на северном склоне Куойкско-Далдынского поднятия сформировался пятиметровый горизонт доломитов, содержащий по напластованию тонкие (до 5 мм) прослойки горючих сланцев, которые легко воспламеняются от спички и горят коптящим пламенем. Формирование доломитов происходило в условиях мелководного морского бассейна, отдельные участки дна кото-

рого периодически попадали в субаэральную обстановку, о чем свидетельствуют клиновидные (шириной до 1 см) трещины усыхания, в плане образующие сложную полигональную сеть.

Именно в этой мелководной субаэральной обстановке и происходило накопление осадков с повышенными концентрациями планктогенного сапропелевого ОВ (до 75 %). Слагающие ОВ мацералы представлены талломо- и коллоальгинитом в прослоях горючих сланцев и окси-сорбоколлоальгинитом в переслаивающихся с ними доломитах и известняках. В общей массе это ОВ представлено фитопланктоном, преимущественно остатками синезеленых водорослей и фикомицетов. Степень преобразованности ОВ отвечает грациям катагенеза МК₂—МК₃. Первоначальные концентрации ОВ были, несомненно, существенно выше. Скорее всего, толща работала как нефтематеринская и значительная часть ее ОВ эмигрировала в виде нафтидов. Об этом свидетельствует присутствие в отдельных образцах пород макропроявлений асфальтитов и альбертитов (0,3—1,0 %), состав которых близок составу битумоидов из переслаивающихся с этими породами горючих сланцев.

Рассматриваемые толщи формировались на начальной стадии образования чехла платформы. Повсеместно они входят в состав типичных платформенных глинисто-известняковых сланценосных формаций, которые Т. К. Баженовой [6] отнесены к доманикоидам регрессивных стадий циклов.

В кембрии сланценакопление имело гораздо большие масштабы как по площади распространения сланценосных формаций, так и по концентрациям захороненного в них ОВ. Положение области кембрийского сланценакопления пространственно совпадает с верхнепротерозойской, но значительно расширяется по площади, охватывая практически весь Анабарский свод, и протягивается широкой полосой к югу до низовьев р. Мая [8]. Однако не исключено, что сланценакопление происходило в пределах двух осадочных бассейнов, характеризовавшихся сходством палеоландшафтных и палеотектонических условий. Эти бассейны развивались в пределах двух основных положительных структур фундамента платформы — Анабарского свода и Алданского щита и разделялись субширотным поднятием. Приуроченность бассейнов к выступам фундамента, окруженным впадинами, и удаленность от источников сноса обеспечили слабый привнос терригенного материала, чему также способствовали обстановка субгоризонтального морского шельфа и отсутствие контрастных тектонических движений, а относительная мелководность бассейна, дно которого находилось чуть ниже активной волновой зоны, и благоприятный температурный и солевой режим обеспечили его высокую биопродуктивность.

Все это в совокупности способствовало формированию двух крупнейших в мире сланценосных бассейнов — Оленекского, занимающего площадь более 600 тыс. км² и Синско-Майского, близкого к нему по масштабам. Основным сланценосным горизонтом в Оленекском бассейне является куонамский, образование которого было приурочено к концу ранней и началу среднекембрийской эпохи. Повышенными концентрациями сапропелевого ОВ характеризуется практически весь разрез среднего и верхнего кембрия, но лишь в куонамском горизонте эти концентрации возрастают до категории горючих сланцев. Кроме куонамского горизонта, маломощные прослои горючих сланцев (до 0,1—0,15 м) встречаются в среднекембрийских отложениях в силигирском горизонте, кутугунском горизонте и суханской свите верхнего кембрия. В западной части Оленекского бассейна в горючих сланцах куонамского горизонта доминирует фитопланктонный тип ОВ [7, 9, 10], в то время как к востоку в районе Куойско-Далдынского и Оленекского поднятий на фоне преобладающего фито-

планктонита в ОВ сланцев появляется значительная примесь фито- и зообентосита. В ОВ средние- и верхнекембрийских сланцев фито- бентосная составляющая преобладает. Все это, по мнению Т. К. Баженовой с соавторами [7], свидетельствует о переходе от регрессивной к трансгрессивной стадии формирования доманикоидной сланцено- ной формации.

Горючие сланцы Оленекского бассейна представляют собой глини- стые, глинисто-карбонатные и глинисто-карбонатно-кремнистые породы с содержанием автохтонного ОВ сапропелевого типа до 30 %. В элементном составе ОВ горючих сланцев, по данным авторов, угле- рода 67—75 %, водорода 8—10 %, кислорода с азотом 8—17 %, серы 5—8 %. Близкие значения состава сланцев приводятся В. Я. Кабань- ковым [11]. Степень катагенетической преобразованности ОВ горючих сланцев изменяется от ПК₃ в районе р. Малая Куонамка до МК₂ в районе р. Некекит. Вблизи кровли прослоев горючих сланцев во вмещающих породах установлены зоны насыщения первично- миграционными битумами [7, 9, 10].

Выход битумоидов из горючих сланцев и переслаивающихся с ними пород составляет 0,06—0,26 %. Элементный состав битумоидов, %: углерод 79—86, водород 8—12, гетероэлементы 3—11. Компонентный состав, %: асфальтены 12—30, масла метаново-нафтеновые 9—20, масла ароматические 8—24, смолы 46—55. Макропроявления биту- мов, пространственно отнесенных к пластам сланцев, по своему хими- ческому составу близки к битумоидам, извлеченным из горючих слан- цев [7, 9, 10].

В Синско-Майском бассейне сланценоность приурочена к горизон- там, расположенным в основании ленского яруса нижнего отдела кем- брийской системы и выделяющимся под названием синской и иникан- ской свит. Свиты слагаются преимущественно известняками и битуми- нозными известняками. Мощность в ареале наибольшего обогащения горючими сланцами изменяется в пределах 40—50 м [8]. Содержание сланцев в разрезе на отдельных участках может достигать 30 %. Сланценоность разреза заметно снижается от устья р. Синей в юго- западном и западном направлениях за счет фациального замещения сланцев известняками и доломитами. Постепенное уменьшение содер- жания в разрезе сланцев вплоть до их полного замещения карбонат- ными породами происходит также в восточном и северо-восточном направлениях по мере приближения к границе Майского синклиналии. Эти факты говорят в пользу предположения о формировании синско-майских горючих сланцев в изолированном глубоководными впадинами относительно мелководном бассейне, приуроченном к поло- жительной структуре в фундаменте платформы.

ОВ синско-майских сланцев по петрографическому составу близко к ОВ куонамских сланцев, но по сравнению с ними имеет большую примесь «гумусового материала» [8]. Идентифицированный Е. М. Ев- тушенко и М. П. Красильниковой в синско-майских сланцах «гумусо- вый материал», вероятнее всего, принадлежит к мацералам группы хитинита, которые имеют сходные химический состав и оптические характеристики. Своим происхождением мацералы группы хитинита обязаны зообентосу и зоопланктону, что с полным основанием позво- ляет отнести сланценозные отложения синско-майского бассейна к доманикоидной формации трансгрессивных стадий. Рассматриваемые сланцы имеют почти черную окраску и листоватую отдельность. Содержание ОВ в ряде проб достигает 25 %. Химико-технологические характеристики синско-майских сланцев близки к куонамским. Ком- понентный анализ битумов показал, что в них содержится: асфальте- нов 30,7 %, масел 19,87 %, смол 49,4 % [8]. Сведений о степени ката- генетической преобразованности ОВ синско-майских сланцев в литера-

туре не обнаружено. Однако их внешний вид, химико-технологические характеристики и общегеологические предпосылки позволяют предполагать, что они в процессе геологического развития переходили границу прото- и мезокатагенеза.

На северо-востоке Азии ордовикский этап сланценакопления проявился в редуцированном виде. В пределах Сибирской платформы на фоне развивавшейся в северо-западном направлении регрессии моря сланцеобразование в ордовике было невозможно. Однако в пределах массивов, например на Приколымском поднятии, существовали благоприятные для сланценакопления условия. Об этом свидетельствует, например, описанная В. С. Шульгиной и Е. П. Сурмиловой 250-метровая толща терригенных пород в районе Верхнего Половинного Камня, относимых к аренигскому ярусу и содержащих пласты сланцев, обогащенных «углефицированным» ОВ. Проведенное авторами исследование сланцев не позволило достоверно идентифицировать мацералы из-за высокой степени преобразованности ОВ. Однако обилие в породах отпечатков граптолитов позволяет предполагать, что именно зоопланктон и зообентос наряду с фитопланктоном служили основным материнским веществом сланцев. На основании результатов микротонометрического анализа ОВ сланцев по степени преобразованности может быть отнесено к началу апокатагенеза (АК₁). Накопление граптолитовых сланцев происходило в относительно мелководном, с застойным режимом и высокой биопродуктивностью бассейне, сформировавшемся вдоль юго-восточной границы Алазейско-Олойской геосинклинальной зоны. О мелководности бассейна свидетельствует переслаивание граптолитовых сланцев с грубозернистыми отложениями. Высокой биопродуктивности бассейна седиментации способствовали теплый климат и активная вулканическая деятельность в то время. Об отсутствии течений в водном бассейне свидетельствуют ограниченный привнос терригенного материала, повышенное содержание хемогенных кремнистых пород, развитие микрослоистости и ритмичной макрослоистости, придающей породам внешнее сходство с флишем.

В силуре сланценакопление имело место лишь на очень ограниченной площади в пределах Сибирской платформы на северо-западной окраине Тунгусской синеклизы. Здесь в течение лландоверийского века накопилась толща мощностью до 700 м, содержащая граптолитовые сланцы. ОВ этих сланцев имеет преимущественно зоогенную природу, что позволило Т. К. Баженовой [7] отнести содержащие их породы к доманикоидам трансгрессивных стадий. Сланценакопление, по всей видимости, происходило во внешней зоне протяженного и относительно узкого краевого прогиба, сформировавшегося вдоль молодой каледонской складчатой области, вступившей в это время в стадию орогенеза.

Следующий этап сланценакопления приходится на девонский период. Территория сланценосного бассейна была приурочена к линейно вытянутому в северо-западном направлении геосинклинальному поднятию, заложившемуся еще в силуре и отделявшему Колымскую сушу от Верхоянского и Колымского морей. В период развития девонской трансгрессии вдоль этого поднятия происходило формирование рифовых комплексов [12]. В обособленных заливах и лагунах, а также на склонах рифовых островов создавались условия, благоприятные для накопления обогащенных ОВ илов, из которых впоследствии образовались горючие сланцы. Сланценосными являются последние среднего отдела девонской системы. Мощность сланценосного горизонта, описанного в районе Селенняхского поднятия, относительно небольшая, около 15 м [13]. Он сложен чередующимися прослоями битуминозных известняков и горючих сланцев. Сланцы содер-

жат до 7—12 % ОВ, генетически преимущественно фитопланктонного. По преобладанию в составе ОВ сланцев фитопланктонитовой составляющей можно предположить, что их образование происходило на регрессивной стадии тектонического цикла. Судя по результатам углепетрографического анализа, в составе ОВ сланцев преобладает коллоальгинит, встречаются включения псевдовитринита. Минеральные компоненты сланцев представлены главным образом гидрослюдами и карбонатами.

В горючих сланцах и переслаивающихся с ними биогермных известняках обнаружены битумы типа асфальтов и асфальтитов, которые находятся в породе в виде макровключений линзовидной и округлой формы, нитевидных прослоек и примазок по кливажным трещинам [6, 9]. Выход битумоидов достигает 4,1 % на ОВ. В компонентном составе преобладают масла — 54,0 %, из них метаново-нафтеновых — 16,9 %, ароматических — 37,1 %. В сумме — смол и асфальтенов 46 %, из них 18,3 % нерастворимых в диэтиловом эфире. Элементный состав битумоида, %: С 78,6, Н 7,0, (О+S) 13,8; атомарное отношение Н/С составляет 1,07. По результатам определения элементного состава макропроявлений битумов из горючих сланцев и вмещающих пород, в них содержится: углерода 82,05 %, водорода 8,76 %, серы 1,28 %, кислорода с азотом 7,91 % [6, 13]. По результатам микрофотометрического исследования ОВ сланцев, максимальное значение степени отражения псевдовитринита составило 7,4 %. Данные микрофотометрии, состав ароматических углеводов битумоида и обогащенность нерастворимой части ОВ изопреноидными элементами позволяют сделать вывод об относительно высокой степени катагенетической преобразованности ОВ, отвечающей, как минимум, градации МК₂.

Реконструкция истории геологического развития данного региона убедительно говорит о том, что причиной относительно высокой степени катагенетической преобразованности ОВ горючих сланцев явились процессы регионального характера. В юго-восточном направлении вдоль полосы сланценакопления растет степень катагенетической преобразованности пород, слагающих сланценосную толщу. Например, в районе Омудевского поднятия в толще карбонатных пород среднедевонского возраста Е. И. Качановым обнаружены прослои пород, по внешнему виду напоминающие термически преобразованные карбонатные горючие сланцы. В известняках здесь присутствуют макровключения керитов и антраксолитов, что свидетельствует об активной битумогенерирующей роли вмещающих сланценосных толщ на фоне их максимального погружения и, видимо, увеличения интенсивности теплового потока.

Последний этап сланценакопления на северо-востоке Азии пришелся на триасовый период. Формирование сланценосного комплекса происходило в пределах мелководного морского бассейна с относительно небольшой скоростью погружения дна бассейна и стабильностью тектонического режима, обеспечившими существование на протяжении длительного времени условий, благоприятных для развития фитопланктона, фито- и зообентоса. В структурно-тектоническом плане этот мелководный морской бассейн располагался в границах Омолонского массива и с севера примыкал к Колымо-Индибирской суше. Мощность накопившихся в нем сланценосных отложений изменяется в пределах 15—20 м. Образование обогащенных ОВ карбонатно-терригенных илов происходило в пределах отрицательной кольцевой Кедонской структуры. Существовавшая по ее периферии барьерная зона как бы отшнуровывала эту часть бассейна от остальной, затрудняя привнос обломочного материала. За счет этого в осадках возросло содержание органических компонентов. В ОВ горючих сланцев

преобладают мацералы группы альгинита (около 90 %). Гумоидное вещество присутствует в подчиненном количестве, образуя в общей массе хлопья и единичные линзы. Вероятнее всего, оно образовалось из остатков бентосной флоры и фауны. По составу минеральных компонентов выделяются четыре основных литотипа: глинистые (5—10 % карбонатов), известковистые (30—50 % карбонатов) и сильно-известковые (более 50 % карбонатов). Содержание ОВ в сланцах изменяется от 5 до 22 %. Наиболее обогащены ОВ глинистые литотипы. В элементном составе ОВ сланцев: углерода 60 %, водорода 6,6 %, азота 3,2 %, кислорода и серы 30,8 %; атомарное отношение Н/С 1,34. Выход битумоидов 1,12—1,36 % в расчете на сухой сланец. Масел в битумоиде 30,1 %, из них 20,4 % метаново-нафтенных и 9,7 % ароматических, смол 40,8 % и асфальтенов 29,1 % [14]. По результатам микрофотометрического исследования, витринит, содержащийся в сланцах, имеет степень отражения R_{max}^a 6,5—7,0. Это позволяет отнести горючие сланцы по степени катагенетической преобразованности к градациям ПК₃—МК₁. Проведенный комплекс технических и химико-битуминологических исследований указывает на близость омолонок сланцев менилитовым сланцам Карпат и ордовикским диктионемовым сланцам Прибалтики. Большое содержание в ОВ сланцев зоогенных компонентов свидетельствует о формировании их на трансгрессивной стадии тектонического цикла.

Совместный анализ этапов сланцenaкопления на северо-востоке Азиатского континента и закономерностей пространственного размещения сланценосных толщ позволяет сделать вывод, что в докембрии и раннем палеозое сланцenaкопление происходило в пределах открытых платформенных морских бассейнов, а затем — в среднем-позднем палеозое и раннем мезозое — мигрировало в восточном направлении и было связано с морскими бассейнами в пределах геосинклинальных областей или активизированных срединных массивов. Определенные закономерности отмечаются и в изменении состава ОВ горючих сланцев. С уменьшением возраста горючих сланцев в материнском веществе возрастает доля остатков гетеротрофных организмов. Максимум содержания зоогенного материала — в триасовых сланцах. Несмотря на более короткую геологическую историю развития сланценосных бассейнов геосинклинального типа, степень катагенетической преобразованности ОВ, как правило, выше, что свидетельствует о больших глубинах погружения и о более интенсивных тепловых потоках, сопровождавших их формирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котлуков В. А., Пельмский Г. А., Прокофьева Л. М. Закономерности формирования горючих сланцев в истории Земли. — Горючие сланцы, 1985, 2, № 2, с. 113—119.
2. Пельмский Г. А., Пальшин И. Г., Окиншевич А. Е. Эпохи сланцenaкопления в истории Земли. — В кн.: Жизнь Земли. М., 1979, с. 24—35.
3. Гинзбург А. И., Котлуков В. А. Материалы к генетической классификации горючих сланцев и сланценосных формаций. — В кн.: Формации горючих сланцев. Таллин, 1973, с. 141—153.
4. Хрусталева Г. К. Условия формирования горючих сланцев. — Горючие сланцы, 1985, 2, № 1, с. 1—12.
5. Янус И. Влияние гранулометрического и литологического состава на содержание органического вещества в породе. — В кн.: Геохимия горючих сланцев : тез. докл. III Всесоюз. совещ. Таллин, 1982, с. 213—215.
6. Клубов Б. А. Природные битумы Севера. М., 1983.

7. *Баженова Т. К., Беляева Л. С., Биккенина Д. А., Шуменкова Ю. М.* Биоценологический состав исходного ОВ палеозойских и верхнедокембрийских горючих сланцев Сибирской платформы и их нефтематеринские свойства. — В кн.: *Геохимия горючих сланцев : Тез. докл. III Всесоюз. совещ. Таллин, 1982, с. 23—24.*
8. *Архипов Ю. В., Лубяновский М. Н., Поляков Н. П., Пантелеев Е. В.* Горючие сланцы. — В кн.: *Геология СССР; Т. 18. М., 1979, с. 83—90.*
9. *Клубов Б. А., Воропаев В. Н., Гревцев А. В.* Основные типы скоплений природных битумов на севере Сибирской платформы и условия их формирования. — В кн.: *Природные битумы — дополнительный источник углеводородного сырья. М., 1984, с. 41—46.*
10. *Клубов Б. А., Гревцев А. В., Щербань О. В.* Нафтидогенез и вторичные изменения в породах куонамского горизонта Сибирской платформы в свете новых литолого-битуминологических данных. — В кн.: *Пути эволюции органического вещества в земной коре. Л., 1984, с. 110—119.*
11. *Кабаньков В. Я.* Оленекский бассейн горючих сланцев — В кн.: *Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР; Т. 11. М., 1968, с. 545—566.*
12. *Бычков Ю. М., Васьяковский А. П., Николаев К. В. и др.* История геологического развития (Северо-Восток СССР). — В кн.: *Геология СССР; Т. 30; Кн. 2. М., 1970, с. 459—496.*
13. *Клубов Б. А., Уров К. Э.* Девонские горючие сланцы Селенняхского поднятия (северо-восточная Якутия). — *Докл. АН СССР, 1979, 247, № 5, с. 1257—1260.*
14. *Уров К. Э., Воропаев В. Н., Сумберг А. И.* Характеристика органического вещества триасовых сланцев Омолонского месторождения (пример катагенеза керогена). — *Горючие сланцы, 1984, 1, № 3, с. 217—229.*

*Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт
Дальневосточного центра Академии наук СССР
г. Магадан*

Поступила в редакцию
5.05.1986

*Институт химии
Академии наук Эстонской ССР
г. Таллин*

V. N. VOROPAYEV, B. A. KLUBOV, K. E. UROV

EVOLUTION OF OIL SHALE ACCUMULATION IN THE EAST AND NORTHEAST OF THE USSR

The principal stages of oil shale formation in the northeast of the continent of Asia have been considered from a historical and genetic viewpoint. A brief geologic and geochemical characterization is presented of Upper Proterozoic and Cambrian shales of the peripheral area of the Anabar anticline and the northern slope of the Aldan shield, Ordovician of the Kolyma ridge of the Verkhoyano-Chukotsk folded region, Silurian shales of the northwestern outlying districts of the Tungus syncline, Devonian shales of the Selenuyakh ridge of the Verkhoyano-Chukotsk folded region and Triassic shales of the Omolon massif.

Based on the results of analysis of oil shale formation in the given region, a conclusion has been made that in the Precambrian and Lower Paleozoic, oil shale formation took place in open sea basins, but in the Middle-Upper Paleozoic and Lower Mesozoic it migrated towards the east and was associated with closed sea basins. It has been shown that with decreasing age of oil shales the role of heterotrophic organisms in their organic matter increases.

*Academy of Sciences of the USSR,
Far-Eastern Scientific Centre,
Northeastern Complex Research Institute
Magadan*

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Chemistry
Tallinn*