

М. М. Филиппов

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОТКРЫТИЯ КРУПНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ШУНГИТОВ В ТОЛВУЙСКОЙ СИНКЛИНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ (Онежский синклинорий)\*

### Введение

Исследования последних лет показали, что залежи шунгитов\*\* представлены двумя основными типами: локальными участками в пределах купольных тел максовитов (максовский тип) и субпластовыми телами (шунгский тип). Залежи рассматриваются как резко обособленные от вмещающих пород скопления метадифференциатов органо-минеральных комплексов, образующихся в течение нескольких стадий: накопление осадочных пород с рядовым (относительно низким) содержанием органического вещества (ОВ); образование органо-минеральных комплексов; их выжимание в складки нагнетания; дифференциация комплексов по плотности и вязкости в процессе перемещения, т. е. обособление дифференциатов различного состава; распад органо-минеральных комплексов, гидрослюдизация глинистых минералов, выделение избыточного кремнезема; обособление ОВ и образование его миграционных форм; углефикация ОВ и метаморфизм минерального вещества. Купольные постройки рассматриваются как структуры четвертого порядка, развивающиеся на антиклинальных складках третьего порядка – на «валах». Выявлены основные закономерности размещения купольных залежей в Толвуйской структуре. Показано, что их образование взаимосвязано, по каждому питающему горизонту возможно формирование системы залежей. Собран экспериментальный материал об основных параметрах этих систем.

Большая часть материалов по выявлению закономерностей формирования купольных структур получена на Максовском месторождении, у которого уровень эрозионного среза составляет примерно 1/4 предполагаемой амплитуды первичного купола. Исходя из особенностей формирования купольных структур, главной из которых является дифференциация осад-

ков по плотности, приводящая к обогащению верхних частей структур ОВ, можно предполагать, что залежи, сохранившиеся от эрозии, представляют собой ценные объекты как для науки, так и для практики. Для теории диапиризма – тем, что они позволят оценить характер формирования апикальных частей куполов, их зональность в распределении ОВ, выявить литологические признаки перехода купольных структур в штокообразные тела и в диапировые шляпы.

В практическом отношении подобные залежи, очевидно, будут представлять интерес, прежде всего, из-за более высокого содержания шунгитового вещества в их апикальных частях. Породы таких залежей смогут быть использованы в новых промышленных технологиях благодаря более высокому содержанию в них шунгитового вещества и за счет отличия их минерального состава по сравнению с породами разрабатываемых в настоящее время месторождений максовитов. В центральной части Толвуйской синклинали в 1985 г. были утверждены запасы разных категорий для трех залежей: Максовская (30,2 млн. т.), Зажогинская (4,0 млн. т.) и Калейская (20,0 млн. т.), оценены ресурсы по Мельничной залежи в объеме 10 млн. т. В ближайшие годы потребность в сырье может резко увеличиться, если в полном объеме будет реализована разработанная в 1999 г. «Программа совместных действий Правительств Москвы и Республики Карелия в сфере развития добычи и переработки минерального сырья», в том числе по использованию шунгитонесущих пород для водоочистки, производства автомобильных шин, электропроводных резин и пластмасс. В этом случае может возникнуть проблема в обеспечении запасов качественного сырья, а значит, актуальны исследования по выбору перспективных участков для поисково-разведочных работ.

В статье обсуждается гипотеза о вероятном существовании в центральной части Толвуйской структуры залежей шунгитов и максовитов, существенно более крупных по запасам, чем известное в настоящее время Максовское месторождение. Предпосылками для выдвижения гипотезы служили особенности геологического строения Толвуйской синклинали, заключающиеся, в частности, в наращивании разреза и в увеличении мощности шестого горизонта при движении от Максовского месторождения к ее центру;

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 05-05-97513.

\*\* **Шунгиты** – породы, содержащие от 45 до 80% шунгитового вещества; имеют параллелепipedальную отдельность, пелитоморфные, напоминают антрацит; относятся к экструзивным сапробитумолитовым породам. **Максовиты** – породы, содержащие от 10 до 45% шунгитового вещества, плотные, пелитоморфные; относятся к экструзивным сапробитумолитовым породам.

предполагается, что именно здесь могут быть открыты залежи, сохранившиеся от эрозии, т. е. находящиеся под чехлом коренных (протерозойских) пород. В качестве обоснования гипотезы привлекаются также теоретические представления о формировании систем купольных структур, экспериментальные данные о параметрах системы, сформированной в Толвуйской синклинали по шестому шунгитоносному горизонту.

### **Геологические предпосылки открытия крупных залежей в пределах Толвуйской синклинали**

Шунгитоносные породы Онежского синклинория развиты на двух стратиграфических уровнях – в людиковийском и калевийском надгоризонтах (нижний протерозой). Основная масса углерода при этом заключена в осадочных и вулканогенно-осадочных образованиях верхней подсвиты заонежской свиты людиковия. Структуры второго порядка Онежского синклинория представлены субпараллельной системой синклиналичных и антиклиналичных складок, ориентированных в северо-западном направлении. Узкие гребневидные антиклинали, сложенные интенсивно дислоцированными породами, разделяют широкие пологие синклинали слабдеформированных пород.

В осадочно-вулканогенном и вулканогенно-осадочном типах разрезов верхней заонежской подсвиты выделены три пачки пород. Первая пачка сложена туфогенно-осадочными породами песчанистой, алевритовой и пелитовой размерности с отдельными карбонатными прослоями и линзами часто с сульфидной вкрапленностью. В строении этой пачки принимают участие также лавовые покровы и отдельные потоки лав с миндалекаменной текстурой (базальты и андезитобазальты). В пачке выделяются три горизонта шунгитоносных пород (I–III) мощностью от 3 до 20 м. Вторая пачка представлена шунгитоносными алевролитами, кварц-серицит-биотитовыми породами, доломитами. В разрезе этой пачки, особенно в ее верхней части, в значительном объеме присутствуют вулканогенно-хемогенные образования, представленные слоями и линзами доломитов и лидитов. В строении этой пачки, как и первой, принимают участие потоки лав базальтового состава. Пачка содержит шесть горизонтов шунгитоносных пород (IV–IX) мощностью от 5 до 20 м.

Толвуйская синклиналичная структура на юго-востоке замкнута и открыта на северо-западе (рис. 1), в ней выделены складки третьего и четвертого порядков. Угол падения шарнира синклинали – 10–15°. В северной части структуры на уровень эрозионного среза выходят породы первой и второй пачек. Достоверно установлено, что по второму и шестому шунгитоносным горизонтам сформированы складки нагнетания, наиболее характерный пример – Максовский купол. К северу от него преимущественно развиты породы верхней части второй пачки, в том числе седьмой – девятый шунгитоносные горизонты и перекрывающие их алевролиты и карбонатные породы. Следовательно, при наличии в этой части синклинали купольных структур, сформированных по шестому шунгитоносному горизонту, они необязательно будут выходить на уровень эрозионного среза, т. е. могут быть перекрыты коренными породами.

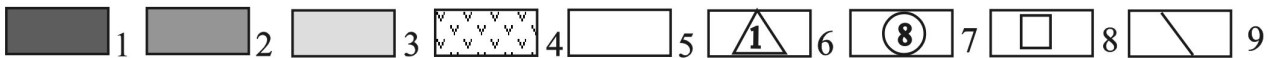
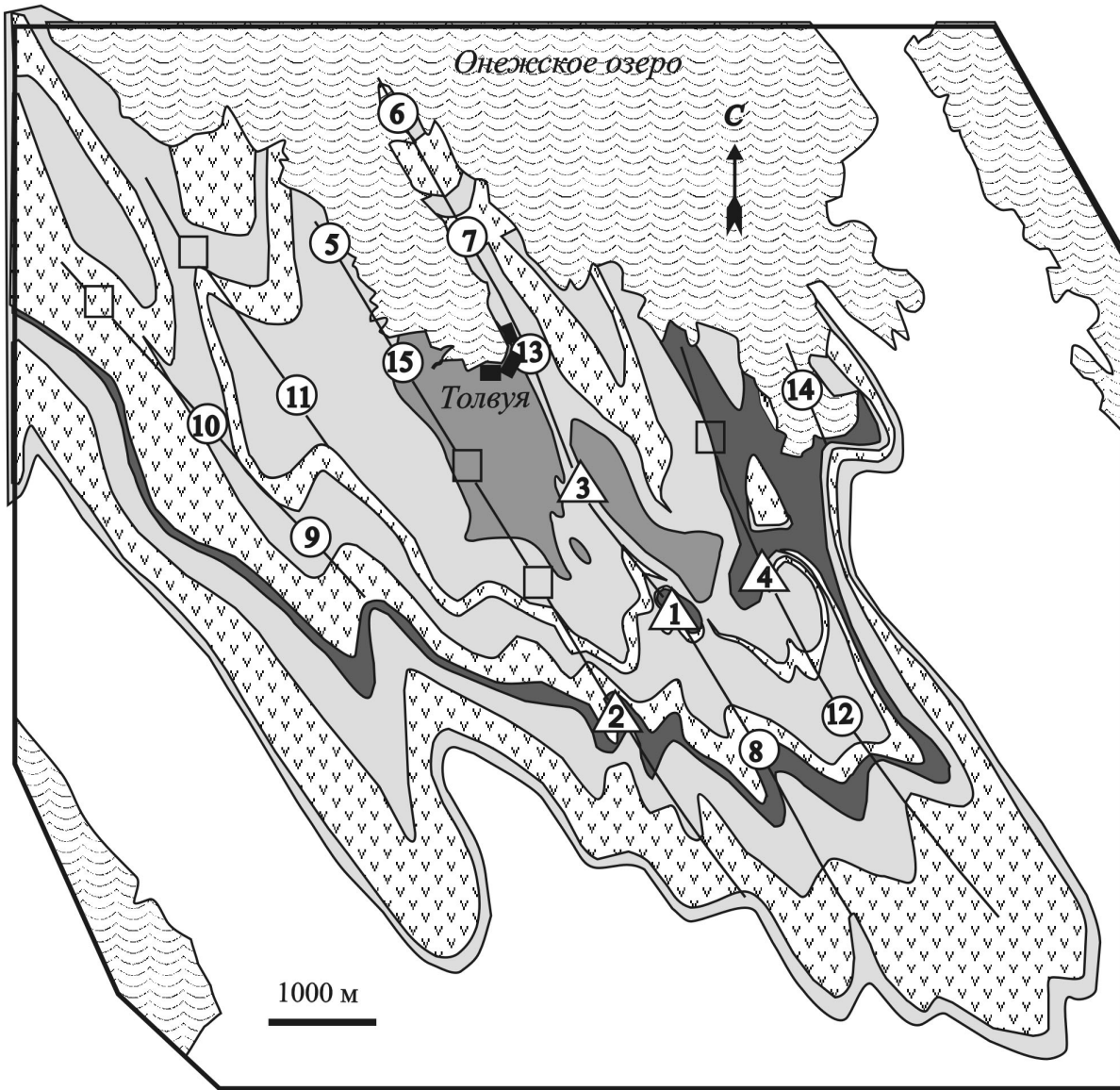
Действительно, по данным геологоразведочных работ 1974–1976 гг. (Купряков и др., 1974) на расстоянии от центра Максовской залежи примерно в 2 км скважиной № 19 на глубине 111 м подсечена Мельничная залежь. В этой же работе намечены предполагаемые контуры залежи, ее центр (скв. № 19) и оценены запасы по категории  $C_2$  в размере 10 млн. т, но без учета вероятного купольного типа залежи и без оценки ее амплитуды. Материалы первичной документации керна и данные опробования (см. ст. М. М. Филиппова, Ю. Е. Дейнес в наст. сб.) свидетельствуют о том, что вскрытая часть залежи содержит основные генетические признаки диапирового тела: очевидную дифференциацию материала по плотности, флюидальные текстуры, указывающие на течение органо-минеральных комплексов. Конечно, по этим признакам невозможно судить о форме залежи и ее объеме. Рассмотрим другие признаки присутствия крупной залежи вблизи скв. № 19, в дальнейшем этот участок будем именовать как «Тетюгино».

### **Общие представления о формировании купольных структур и вероятные признаки присутствия на участке купольного тела**

В теории диапиризма рассматриваются гравитационно-неустойчивые системы, состоящие из слоя легкого материала, расположенного под слоем относительно более тяжелого вещества. Развитие такой реологической системы идет путем перемещения легкого материала на кровлю перекрывающего слоя и распределения там в виде горизонтального тела. Могут образовываться купольные, штокообразные и субпластовые тела. Появление купола и краевой синклинали сопровождается распространением по питающему слою дополнительной гравитационной неустойчивости, тем самым создается возможность формирования соседних куполов. «Тиражирование» гравитационной неустойчивости по питающему слою носит характер цепной реакции, и в благоприятных условиях формируется система генетически связанных валов и диапировых куполов, параметры которой определяются доминирующей длиной волны первичного возмущения, растущего с максимальной скоростью.

В северной части Толвуйской синклинали (рис. 1) все известные купольные шунгитоносные структуры развиты по наиболее мощному шестому шунгитоносному горизонту и размещаются в пределах антиклиналичных складок третьего порядка, протягивающихся в центральной части синклинали параллельно ее оси.

Анализ развития реологических систем осуществляется с целью получения данных о доминирующей длине волны, которая определяет расположение диапировых антиклиналичных складок (валов) и куполов. Эта область тектонофизики давно и успешно исследуется зарубежными и отечественными учеными (Артюшков, 1963; Сычева-Михайлова, 1973; Рамберг, 1985; Biot, Ode, 1965; Selig, 1965). При решении подобных задач обычно принимается ряд упрощающих условий: 1) вязкость тел не зависит от величины приложенного к ним девиаторного напряжения (Ньютоновские жидкости); 2) в гидродинамических уравнениях инерционные члены отсутствуют, поскольку для



**Рис. 1. Геологическая карта-схема Толвуйской синклинали с нанесенными известными и предполагаемыми залежами максовитов, сформированных по горизонтам второй пачки верхней подсвиты заонежской свиты:**

1 – шунгитоносные породы 6-го горизонта; 2 – хемогенно-осадочные породы, перекрывающие 9-й шунгитоносный горизонт; 3 – вулканогенно-осадочные породы, в том числе 7 и 9-й шунгитоносные горизонты; 4 – силлы габбро-долеритов; 5 – подстилающие породы, в том числе шунгитоносные; 6 – разведанные залежи: 1 – Максовская, 2 – Забогинская, 3 – Мельничная, 4 – Калейская; 7 – предполагаемые по данным геолого-геофизического картирования: 5 – Подсосонье, 6 – Каргуба, 7 – Красная горка, 8 – Горушка, 9 – Мироновская, 10 – Толвуйский бор, 11 – Домашняя, 12 – Алексеевская, 13 – Толвуйская, 14 – Часовенская, 15 – Андриановская; 8 – предполагаемые залежи; 9 – оси антиклинальных складок третьего порядка

геологических систем, которые развиваются медленно, силы инерции ничтожны по сравнению с силой вязкого сопротивления и силой тяжести; 3) аналитические решения верны лишь для малых отношений амплитуды купола к длине волны синусоидальных волн на границах между слоями ( $y/\lambda \leq 0,1$ ). При оценке доминирующей длины волны аналитические решения хорошо совпадают с экспериментальными, поскольку

распределение куполов закладывается на ранней стадии развития системы.

Пример аналитического решения гидродинамической задачи применительно к диапировому процессу приведен в работах F. Selig (1965) и X. Рамберга (1985). В общем виде рост амплитуды купола определяется соотношением:  $y = y_0 \cdot \exp(t \cdot l \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot h / \mu)$ , где  $t$  – время развития купола,  $l$  – линейный размер

первоначального возмущения,  $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$ ,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – плотность перекрывающих пород и питающего слоя,  $h$  – мощность питающего слоя,  $\mu$  – вязкость вещества,  $g$  – ускорение силы тяжести. Аналитическое решение (Рамберг, 1985) для гармоника с максимальной скоростью роста амплитуды выглядит следующим образом:  $w = 0,33 \{g(\rho_1 - \rho_2) / (\mu_1 + \mu_2)\} \cdot 1/k$ , где  $k$  – волновое число, соответствующее найденному максимуму:  $k = 2,15 / h_2 (\mu_2 / \mu_1)^{1/3}$ . Коэффициент  $k$  связан с длиной волны,  $k = 2\pi/\lambda$ , что позволяет оценить  $\lambda$  для различных  $h_2$  и  $\mu_2 / \mu_1$  при задании мощности питающего слоя ( $h_2$ ) и отношения вязкости питающего и перекрывающего слоев ( $\mu_2 / \mu_1$ ). В трехслойной модели можно принять:  $\rho_1 = \rho_3 > \rho_2$ ;  $\mu_1 = \mu_3 > \mu_2$ , и мощности слоев  $h_1 \gg h_2$ ,  $h_3 \rightarrow \infty$ , тогда доминирующая длина волны будет зависеть только от  $\mu_1/\mu_2$ ,  $\mu_2/\mu_3$  и  $\Delta\rho = (\rho_1 - \rho_2)/(\rho_2 - \rho_3)$ . Вид зависимости  $\mu_{1:2} = \mu_{3:2} (\lambda/h_2)$  приведен на рис. 2.

### Исходные параметры динамической модели развития купольных шунгитоносных структур

Основные параметры любой динамической модели развития диапиров включают: мощность питающего слоя и перекрывающих и подстилающих пород, их плотность и вязкость. На примере Толвуйской синклинали рассмотрим возможные подходы к получению необходимых параметров модели для питающего слоя, представленного шестым горизонтом верхней заонежской подсыты.

#### Мощность питающего слоя и перекрывающих пород

Примем, что на момент развития диапирового процесса существовали следующие условия. Питающий

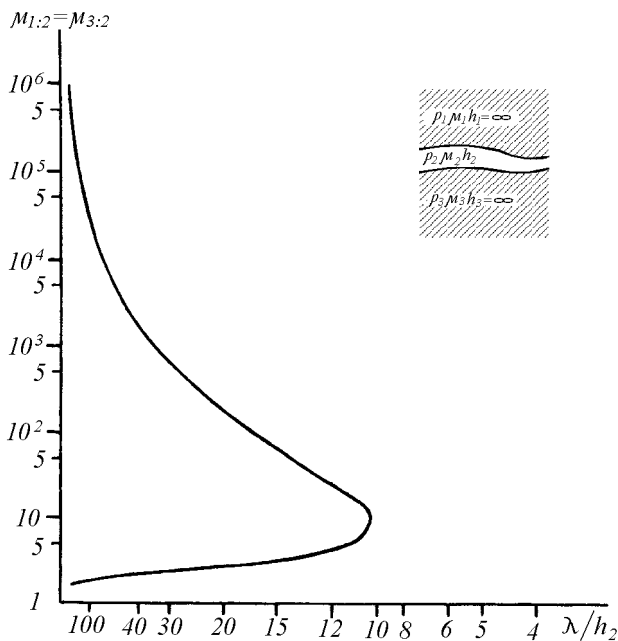


Рис. 2. Трехслойная модель развития системы диапировых структур с двумя изгибающимися границами и зависимость  $(\mu_1/\mu_2 = \mu_3/\mu_2)$  от длины волны ( $\lambda$ ) и мощности питающего горизонта ( $h_2$ ) (Рамберг, 1985)

слой (шестой горизонт) залегает на туфоалевролитах и карбонатных породах и перекрывается туфоалевролитами, карбонатными породами, горизонтами шунгитоносных пород (VII–IX) второй пачки, а также породами третьей пачки (туфоконгломераты, туфы, туфоалевролиты, алевролиты). В пределах второй пачки, над VI горизонтом, а также в третьей пачке известны потоки базальтов и силлы габродолеритов. Примерное соотношение вулканитов и осадочных образований во второй пачке 1 : 2. Мощность верхней части 2-й пачки от подошвы VI горизонта принята равной 180–200 м при общей мощности пачки 200–250 м, а с учетом вулканитов – 300–350 м. При определении первичной мощности перекрывающих пород и питающего слоя принимается, что вулканиты сохраняли свою мощность. Питающий слой в модели рассматривается как первичный сапропелевый ил, который в позднем диагенезе превратился в органо-глину с аломосиликатной, кремнистой и частично карбонатной минеральной основой; учтем современную мощность шестого горизонта 20 м и среднее содержание  $S_{св}$  – 6%. Мощность осадков в диагенезе и катагенезе сокращается за счет гравитационного уплотнения, дегидратации, потери газовых компонентов, ОВ. В качестве поправочных коэффициентов взяты расчетные данные В. Н. Холодова (1997). Оценим теперь возможную мощность питающего слоя на конец диагенеза, при этом примем во внимание, что в катагенезе и метагенезе теряется около 70% ОВ (Хворова, Вишневская, 1987). Следовательно, в конце диагенеза в питающем слое содержалось около 20% ОВ. Плотность ОВ в начале бурогольной стадии углефикации составляет около 1,6 г/см<sup>3</sup>, а плотность минерального вещества можно принять равной 1,84 г/см<sup>3</sup> (Холодов, 1997). Максимальные коэффициенты сокращения мощности отдельно для глинистой составляющей и ОВ соответственно равны 2,65 и 3,0 (Холодов, 1997). С учетом этих замечаний, расчетные значения мощности питающего слоя составляют от 40 до 60 м. Средневзвешенное значение плотности питающего слоя равно 1,79 г/см<sup>3</sup>. Возможно, что за счет карбонатной составляющей и примеси терригенного материала плотность была несколько более высокой.

#### Вязкость питающего слоя и перекрывающих пород

Протосунгитовые породы можно отнести к коллоидно-дисперсным системам, состоящим из дисперсной среды (ОВ, вода) и дисперсной фазы (частицы водного кремнезема и глинистых минералов). Любые изменения свойств любой из названных составляющих приводили к изменениям структурно-механических свойств системы. На стадии существования гелей это вещество представляло собой связнодисперсную систему с достаточно жесткой пространственной структурой, где все частицы связаны молекулярными силами. Для концентрированных дисперсных систем стабилизация структурного состояния идет за счет образования на поверхности частиц гелеобразных структурированных адсорбционных слоев, в качестве которых с успехом выступают высокомолекулярные ОВ. Такие адсорбционные слои способствуют скольжению частиц, т. е. служат в качестве некоторой «смазки». В том случае, когда ОВ в породе много

(1–20%), оно будет присутствовать в системе как в виде прочносвязанных с минеральным веществом комплексов адсорбированных пленок, так и в виде свободных высокомолекулярных соединений, которые также участвуют в образовании структуры вещества. По данным И. М. Горьковой (1975), в глинистых породах от 40 до 83% ОВ присутствует в виде прочных органо-минеральных соединений; от 2,7 до 35,5% – в виде свободных и адсорбированных гуминовых и фульвокислот; до 40% – в виде битумов.

По физическим свойствам дисперсные системы занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми телами. Способность дисперсных систем к деформации сильно зависит от их плотности и степени синергетического упрочнения. Дисперсные системы со стабилизационными и коагуляционными структурами средней и высокой степени литификации (например, кембрийские глины Ленинграда, юрские глины КМА), синергетически упрочненные и уплотненные, текут под нагрузкой выше предела прочности с ньютоновской постоянной вязкостью от 30 до 300 Па·с, т. е. это упруго-вязкие системы, для которых вязкость породы с ненарушенной структурой  $\eta_0 = 10^7$ – $10^{10}$  Па·с существенно выше вязкости в период течения.

По мере старения дисперсных систем они переходят в системы с коагуляционными и пластификационно-коагуляционными структурами. На этой стадии они обладают достаточно высоким пределом текучести ( $6,2 \cdot 10^3$ – $1,1 \cdot 10^4$  Па), при котором начинают течь с невысокой ( $20$ – $50$  Па·с) постоянной пластической вязкостью.

Микроструктура шунгитоносных пород свидетельствует о том, что первоначально осадочная порода имела стабилизационные структурные связи, а на поздних стадиях – коагуляционные и пластификационно-коагуляционные. В породе постоянно присутствуют адсорбционные пленки ОВ на поверхности минеральных фаз. За счет этих пленок минеральные частицы практически не контактировали друг с другом, а силы сцепления между ними были ослаблены. Такие высокодисперсные системы, находящиеся на высокой стадии уплотнения и литификации (конец диагенеза), могли иметь вязкость в пределах  $10^8$ – $10^9$  Па·с. Эти породы способны к пластичному течению в некотором интервале напряжений. Наибольшей пластичностью обладают монтмориллонитовые глины с большим содержанием ОВ. Превышение заданного интервала напряжения может сопровождаться резким снижением вязкости – до  $100$ – $800$  Па·с. Отметим также, что тонкодисперсные осадочные породы, содержащие ОВ, длительное время сохраняют свои реологические свойства благодаря замедленному диагенезу и катагенезу (Горькова, 1975; Лебедев и др., 1979; Лебедева, 1985).

Итак, питающий слой в динамической модели можно рассматривать как тонкодисперсную среду, имеющую ближние коагуляционные или пластификационно-коагуляционные контакты минеральной фазы, способную к пластическим деформациям в широком интервале напряжений, превышающих условный статический предел текучести, т. е. к течению с постоянной наибольшей пластической вязкостью, равной  $10^8$ – $10^{11}$  Па·с (для оценки ведущей длины волны принято значение  $10^{10}$  Па·с). В ряде случаев, например, когда преобразование осадочных пород идет в закрытых

условиях и удаление продуктов преобразования ОВ затруднено, возникают аномально высокие пластовые давления (АВПД). В таких условиях глины являются недоуплотненными (Магара, 1982; Осипов, 1979). За счет АВПД повышена также пластичность пород, что способствует зарождению и развитию диапиров. Эффект разуплотнения может быть очень большим. Так, для палеозойских отложений (Зхус, Бахтин, 1979) обычная плотность глин  $2,25$ – $2,32$  г/см<sup>3</sup>, а в зонах АВПД –  $1,74$ – $1,96$  г/см<sup>3</sup>. Пористость таких глин с ОВ примерно в 1,5 раза больше по сравнению с породами, не содержащими ОВ. В максовитах выявлены признаки развития АВПД – миндалевидные включения и жеоды, заполненные вторичным кварцем и миграционным шунгитовым веществом (антраколитом).

Реальность оценок реологических свойств протошунгитовых пород, участвующих в диапировом процессе, следует из материалов изучения доманикитов баженовской свиты (Западная Сибирь, юра), которые можно рассматривать в качестве их близкого аналога. На конец диагенеза баженовиты содержат от 5 до 20% сапропелевого ОВ (Лебедева, 1985). Помимо ОВ в состав доманикитов входит аутигенный кремнезем, глинистые минералы, карбонаты, пирит. Первичные глинистые минералы представлены исключительно монтмориллонитом, кремнезем в смеси с ОВ – опалом. Образование органо-глинистых соединений происходит на заключительной стадии диагенеза, при этом ОВ вытесняет воду из межпакетного пространства монтмориллонитов и порода становится гидрофобной, а ионные реакции становятся невозможными. В катагенезе, когда ОВ активно генерирует углеводороды (УВ), создается АВПД и появляется разуплотнение доманикитов, т. е. появляются условия для автохтонного образования нефтяных месторождений, когда УВ сохраняются в материнском слое. На примере баженовской свиты наиболее ясно фиксируются замедленные процессы диагенеза и катагенеза – вплоть до завершающих стадий нефтегенерации и эмиграции УВ (Лебедева, 1985). Особый режим изменения пород накладывает свой отпечаток и на процесс уплотнения пород; он идет не плавно, а поэтапно, в зависимости от стадий преобразования ОВ и отделения УВ. По сравнению с нормальными глинами, доманикиты на конец диагенеза имеют более низкую плотность, а пористость, соответственно, больше. Это и служит предпосылкой для формирования коллекторской емкости доманикитов и накопления в них УВ.

Для баженовитов Б. А. Лебедевым и др. (1979) выведена эмпирическая зависимость, связывающая плотность с содержанием  $C_{орг}$  в породе:  $d = 2,7 - 0,075C_{орг}$ . Если принять следующий условный состав ОВ на конец диагенеза:  $C = 64,8$ ;  $H = 6,7$ ;  $O = 18,7$ ;  $S = 7,0$ ;  $N = 2,8\%$ , то для протошунгитовых пород в это время плотность могла быть менее  $1,7$  г/см<sup>3</sup>.

Кремнистая составляющая шунгитоносных пород на конец диагенеза, вероятнее всего, была представлена опалом. Как и для глин, ОВ выступало в роли замедлителя преобразования опала в кварц. Карбонатный материал в диагенезе также сорбирует ОВ, однако их разделение завершается до конца диагенеза (Клубова и др., 1986), а продукты преобразования ОВ присутствуют в карбонатах либо в

пустотах выщелачивания, либо в трещинах. Таким образом, питающий горизонт в начале диапирового процесса мог быть представлен смесью органо-глинистого, органо-кремнистого вещества, свободного ОВ и карбонатов с ОВ. Все основные составляющие, кроме карбонатов, это легкие, пластичные, пористые вещества, способные к вязкому течению под нагрузкой с низким пределом текучести. Органо-глинистые соединения, вероятно, имели меньшую плотность; затем, по мере увеличения плотности, шли органо-кремнистые и карбонатные породы с ОВ. Плотность свободного ОВ, доля которого уже в диагенезе была существенной, наименьшая. Эти обстоятельства позволяют создавать различные модели питающего слоя: для определения общих закономерностей формирования куполов его можно рассматривать как однородное вещество со средней плотностью и вязкостью.

Оценка средней вязкости пород, перекрывающих питающий слой, усложняется из-за того, что здесь много литологических разновидностей. Для основных типов пород разреза значения вязкости взяты из работ С. С. Вялова (1978), И. М. Горьковой (1975), В. И. Осипова (1979). Для доломитов, лидитов (кремнистых сланцев), алевролитов в расчетах принята вязкость соответственно  $10^{15}$ ,  $10^{13}$  и  $10^{14}$  Па·с, а для перекрывающего слоя – в среднем  $5 \cdot 10^{13}$  Па·с. Известно, что с повышением температуры вязкость большинства веществ понижается, однако оценка реологических свойств докембрийских пород затруднена по причине неопределенности температурных условий.

#### Оценка реальности модели

Для центральной части Толвуйской структуры экспериментально (геофизическими методами) (Филиппов и др., 2004) оценено расстояние между соседними куполами, сформированными по шестому шунгитонному горизонту и находящимися на одном валу, которое составило  $1750 \pm 50$  м. Исходные параметры реологической системы и график рис. 2 позволяют определить вероятную длину волны при выбранном значении  $\mu_2 / \mu_1 = 5 \cdot 10^3$ . Она составляет около 1650 м. Для оценки принято значение  $\Delta\rho = -1$ . Из расчетов также следует, что питающий слой мощностью менее 30 м не может дать купольные постройки с длиной волны, равной характерному расстоянию между соседними залежами, даже при  $\mu_2 / \mu_1 > 10^4$ . Близость теоретической и экспериментальной оценок расстояния между купольными структурами, находящимися на одном валу, для системы куполов центральной части Толвуйской структуры позволяет использовать экспериментальный параметр для определения положений центров слабо изученных или неизвестных куполов.

На рис. 1 приведено расположение известных купольных структур в Толвуйской синклинали, а также предполагаемых аналогичных структур, местоположение которых найдено с учетом расчетной доминирующей длины волны. Ближайшей к Максовскому куполу структурой оказывается Мельничная залежь, причем центр залежи, ориентировочно указанный в работе С. В. Купрякова и др. (1974), оказывается близ-

ким к расчетному центру. Таким образом, к северу-западу от Максовского купола должен был развиваться аналогичный купол, т. е. скв. № 19 пересекла лишь его краевую часть. Амплитуду нового купола можно оценить, используя ожидаемую аналогичию его с Максовской структурой, в центре которой мощность тела максовитов составляет 120 м. Если учесть вероятный уровень эрозионного среза на Максовском месторождении, равный  $1/4$  амплитуды, то амплитуда Мельничной залежи должна быть не менее 150 м. Исходя из имеющихся данных о разрезе участка, следует сделать вывод и о том, что апикальная часть купольного тела должна находиться на уровне девятого горизонта шунгитонных пород.

Выводы о наличии в северной части Толвуйской синклинали крупной залежи шунгитов и максовитов, сделанные на основе сопоставления экспериментальной и расчетной величин длины волны, естественно, нуждаются в дополнительной проверке, поскольку расчетные значения базируются на оценках реологических свойств пород и мощности отложений в начале развития диапирового процесса, которые весьма изменчивы во времени и зависят от множества факторов. Закономерен вопрос: существуют ли признаки присутствия крупной залежи, которые можно обнаружить при исследовании перекрывающих девятый горизонт доломитов и лидитов? Такие породы вследствие первоначально низкого содержания ОВ должны были в отличие от сапропелевых осадочных пород проходить литификацию не в замедленном, а в обычном режиме и, возможно, даже ускоренно из-за повышенного геотермического градиента в докембрии. Следовательно, при формировании купольного тела они могли испытывать хрупкие деформации. В статье М. М. Филиппова, Ю. Е. Дейнес (наст. сб.) проанализированы все имеющиеся к настоящему времени геологические и геофизические материалы по участку «Тетюгино», в том числе полученные в 2004 и 2005 гг. Они позволяют утверждать, что теоретические оценки вполне реальны и что на участке существует залежь, не разрушенная эрозией, которая по объему должна быть существенно больше самого крупного Максовского месторождения. Ожидаемые запасы Мельничной залежи составляют примерно 40 млн. т.

На основании приведенных сведений о геологии Толвуйской синклинали можно уверенно говорить и о том, что Мельничная залежь не единственная среди тех, которые не разрушены эрозией. В центральной части структуры помимо Максовского вала параллельно ему с востока и запада проходят два аналогичных вала – Калейский и Огородовцы. Если по первому из них уже есть геолого-геофизические материалы, позволяющие провести подобный анализ и с большой вероятностью определить участки, перспективные для обнаружения залежей, аналогичных Мельничной, то второй вал практически не исследован. Таким образом, на территории Толвуйской синклинали существуют реальные перспективы увеличения ресурсов шунгитов в 3–4 раза.

Приведенный в статье подход к анализу геологической информации может быть распространен и на другие синклинали структуры Онежского синкли-

## ЛИТЕРАТУРА

- Артюшков Е. В.* О возможности возникновения и общих закономерностях развития конвективной неустойчивости в осадочных породах // ДАН СССР. 1963. Т. 153, № 1. С. 162–165.
- Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. М., 1978. 445 с.
- Горькова И. М.* Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. М., 1975. 151 с.
- Зхус И. Д., Бахтин В. В.* Литогенетические преобразования глин в зонах аномально высоких пластовых давлений. М., 1979. 139 с.
- Клубова Т. Т., Королев Ю. М., Резникова А. П. и др.* Поровое пространство и органическое вещество коллекторов и покрышек. М., 1986. 96 с.
- Красс М. С., Нападенский Г. Б.* О механизме гравитационного диапирового тектогенеза // Вест. МГУ, геол. сер. 1972. № 3. С. 91–101.
- Купряков С. В., Михайлов В. П. и др.* Отчет о результатах поисково-оценочных работ на шунгитовые породы, проведенных на Зажогинском и Фоймогубском участках в 1972–1974 гг. Петрозаводск, 1974 // Фонды ККГРЭ, ПГО «Севзапгеология».
- Лебедев Б. А., Дорофеева С. Г., Краснов С. Г. и др.* Вещественный состав и природа емкости глинисто-сапропелево-кремнистых нефтеносных отложений баженовской свиты (верхняя юра) Западной Сибири // Литол. и полезн. ископ. 1979. № 2. С. 90–101.
- Лебедева Г. В.* Вторичные изменения органомонтмориллонитовых соединений в доманикитах // Закономерности размещения коллекторов сложного строения и прогноз нефтегазоносности. Л., 1985. С. 94–99.
- Магара К.* Уплотнение пород и миграция флюидов. М., 1982. 296 с.
- Осипов В. И.* Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М., 1979. 232 с.
- Рамберг Х.* Сила тяжести и деформации в земной коре. М., 1985. 399 с.
- Сычева-Михайлова А. М.* Механизм тектонических процессов в обстановке инверсии плотности горных пород. М., 1973. 131 с.
- Филиппов М. М., Клабуков Б. Н., Суханов А. В.* Экспериментальное определение основных параметров систем купольных шунгитоносных структур Толвуйской синклинали // Российский геофизический журнал. 2004. № 3. С. 25–30.
- Хворова И. В., Вишневецкая В. С.* Кремнистые породы складчатых поясов фанерозоя // Происхождение и практическое использование кремнистых пород. М., 1987. С. 59–78.
- Холодов В. Н.* Скорости осадконакопления в настоящем и прошлом // Отечественная геология. 1997. № 3. С. 22–31.
- Юдович Я. Э., Кетрис М. П.* Геохимия черных сланцев. Л., 1988. 271 с.
- Biot M. A., Ode H.* Theory of gravity instability with variable overburden and compaction // Geophysics. 1965. Vol. 30. P. 213–227.
- Selig F.* A theoretical prediction of salt dome patterns // Ibid. P. 633–643.