

УДК 550.31

ЭВОЛЮЦИЯ ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ ПОДДОННЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ НАКОПЛЕНИИ ОСАДКОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИМИ И РЕОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

© 2014 г. Е.И. Суетнова

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

Приводятся результаты исследования эволюции порового давления, процессов фильтрации и накопления газовых гидратов в порах при последовательном накоплении на морском дне слоев осадков с разными реологическими и флюидодинамическими свойствами. Результаты математического моделирования свидетельствуют, что в ходе такого процесса осадконакопления возникают возмущения порового давления, скорости адвекции порового флюида и скорости уплотнения осадков, что оказывает влияние на процесс гидратонакопления.

Количественно показано, что гидратонасыщенность и давление порового флюида в придонной зоне стабильности газовых гидратов в морских осадках зависят не только от значений флюидодинамических и реологических параметров осадков в этой зоне, но и от значений параметров осадков, поступавших ранее в ходе осадконакопления.

Ключевые слова: седиментация, газовые гидраты, уплотнение, реология, численное моделирование.

Введение

Формирование газовых гидратов в субаквальных осадках – один из важных геофизических процессов, изучение которого необходимо как в фундаментальных, так и в прикладных аспектах. Газовые гидраты в естественных условиях представляют собой подобные льду кристаллические образования из газа (главным образом, метана) и воды, которые формируются и остаются стабильными в определенном диапазоне давления (P) и температуры (T) [Sloan, 1998]. Благоприятные для образования и стабильности газовых гидратов PT -условия широко распространены в структурах океанского дна, однако для формирования гидратов необходимо также адекватное поступление газа в зону их стабильности, что реализуется в основном в зонах континентальных окраин и окраинных морей [Гинсбург, Соловьев, 1994; Davie, Buffett, 2003]. Относительно высокая скорость седиментации на континентальных окраинах за счет уплотнения осадков служит предпосылкой для формирования восходящего потока флюидов, который транспортирует газ к поверхности, в зоны термобарических условий стабильности газовых гидратов. Предыдущие исследования показали, что накопление газовых гидратов в осадочной толще зависит от течения базовых процессов тепломассопереноса, которые формируют PT -условия стабильности гидратов, и от скорости фильтрации газонасыщенного порового флюида [He, Matsubayashi, Lei, 2006; Liu, Flemings, 2007; Суетнова, 2007].

В то же время накопление газовых гидратов в поровом пространстве, меняя условия фильтрации в среде осадков, оказывает влияние на течение названных базовых процессов. Такое взаимовлияние количественно было исследовано для случая однородного осадконакопления с постоянными реологическими и гидродинамическими свойствами поступающих на морское дно осадков [Суетнова, 2007]. Однако геофизические исследования морского дна в гидратоносных регионах показывают, что осадконакопление

не оставалось однородным в течение истории формирования осадочных структур [Steurer, Underwood, 2003] и свойства накапливавшегося осадочного материала зависели от условий на поверхности. Действительно, изменения физико-химических условий среды осадкообразования, например, в периоды трансгрессии/регрессии моря или вулканической активности, приводят к последовательному накоплению слоев осадков с разными механическими и гидродинамическими свойствами в потенциально гидратоносных бассейнах в зонах пассивных и активных континентальных окраин мирового океана. Такие изменения режима осадконакопления в процессе уплотнения осадков должны приводить к изменениям распределения порового давления и скорости фильтрации к поверхности порового флюида по сравнению с однородным осадконакоплением, так как скорость уплотнения поступающих осадков зависит от их реологических и флюидодинамических свойств [Суетнова, 2003, 2011]. Ранее [Суетнова, 2011] было показано, что различие флюидодинамических свойств слоев осадков, последовательно поступающих на дно акватории, значительно влияет на историю накопления газовых гидратов. Были исследованы также некоторые случаи накопления осадков с разными реологическими свойствами [Суетнова, 2013]. В названных работах с помощью математического моделирования показано, что перекрытие менее проницаемых осадков более проницаемыми в ходе формирования осадочного слоя приводит к увеличению гидратонасыщенности по сравнению со случаями, когда за то же время происходит накопления однородных осадков с такими же значениями проницаемости. Там же отмечено, что аналогичный эффект имеет место при перекрытии более вязких осадков менее вязкими. В обоих случаях процесса осадконакопления образовывались возмущения порового давления, зависящие от контрастности свойств осадков и влияющие на скорость фильтрации поровых флюидов к поверхности.

В естественных условиях морских осадочных структур изменение типа поступающих на дно осадков предполагает одновременное изменение их вязкости и проницаемости в силу изменения основного источника осадков или появления примесей. Так, в случае трансгрессии поступающие на дно гидратного региона акватории осадки становятся менее вязкими и менее проницаемыми за счет увеличения содержания в них глубоководных глинистой и иловой компонент. Такие изменения свойств осадков потенциально должны создавать возмущения порового давления и скорости фильтрации и влиять на процесс гидратонакопления.

В данной работе представлены новые результаты математического моделирования влияния различий проницаемости и эффективной вязкости осадков, поступавших в разные периоды истории седиментации, на эволюцию порового давления и процесса гидратонакопления.

Математическая модель

Математическая модель описывает комплексный процесс, включающий последовательное накопление слоев флюидонасыщенных осадков, их прогрев, уплотнение, обусловленную уплотнением фильтрацию насыщающего газосодержащего флюида и осаждение газовых гидратов из флюида в порах в зоне реализации PT -условий стабильности гидратов. Система дифференциальных уравнений, описывающая процесс аккумуляции газовых гидратов в естественных условиях в накапливающихся и уплотняющихся осадках вязкоупругой реологии, состоит из семи уравнений в частных производных [Суетнова, 2007]:

$$V_f - V_s = -\frac{k}{\mu(m-h)} \left(\frac{\partial p_f}{\partial z} + \rho_f g \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_f m(1-h)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_f V_f m(1-h)}{\partial z} = -J_h \rho_f, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho_s(1-m)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_s V_s(1-m)}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho_h m h}{\partial t} + \frac{\partial \rho_h V_s m h}{\partial z} = J_h \rho_h, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho_f m(1-h)c}{\partial t} + \frac{\partial \rho_f V_f m(1-h)c}{\partial z} = -\rho_h(c_h - c)m(1-h) \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (5)$$

$$\frac{dm}{(1-m)dt} = -\frac{m}{\eta} p_e - m\beta \frac{dp_e}{dt}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} + A_1 \frac{\partial m(1-h)V_f f}{\partial z} + A_2 \frac{\partial (1-m)V_s f}{\partial z} = \kappa \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}. \quad (7)$$

В уравнениях (1)–(7) $A_1 = \rho_f C_f / \rho C$, $A_2 = \rho_s C_s / \rho C$ и использованы следующие обозначения¹: m – пористость; p_f и V_f – давление и скорость порового флюида; V_s – скорость матрицы осадков; p_e – эффективное давление, равное $p_{tot} - p_f$ (p_{tot} – полное давление; здесь мы принимаем, что внешнее давление равно константе и $p_{tot} = p_s = -\rho_s g z$ с точностью до этой константы); p_s – давление твердой фазы; t – время; z – пространственная координата; ρ_f – плотность флюида; ρ_s – плотность осадков; ρ – плотность среды; $k = k_0 m^3$ – проницаемость осадков; μ – вязкость флюида; g – ускорение силы тяжести; η – эффективная вязкость среды; h – гидратонасыщенность; C – теплоемкость; f – температура; $\beta = -(\partial m / \partial p_e) / m$ – пороупругость; J_h – объемная скорость поглощения флюида и приращения образования гидрата в предположении локального термодинамического равновесия и отсутствия дефицита газа.

В уравнении (7) отсутствует член, описывающий источник, обусловленный образованием гидратов, так как в работе [Davie, Buffett, 2001] показано, что накопление гидратов из газа, растворенного в поровом флюиде, не вносит значимых возмущений в профиль температуры в осадках. Система (1)–(7) становится полной и замкнутой после формулировки следующих граничных условий. На нижней, непроницаемой границе осадков скорости твердой V_s и жидкой V_f фаз равны скорости погружения основания бассейна V_1 ; градиент температуры на этой границе задается постоянным. Пористость на верхней (дренажной) границе принимается постоянной $m(z=0, t) = m_0$; температура на этой границе также поддерживается постоянной, равной 0.

Следуя [Davie, Zatsepina, Buffett, 2004; Zatsepina, Buffett 1997], принимаем условие локального термодинамического равновесия гидрат–флюид в области стабильности газовых гидратов. Для локализации зоны стабильности гидратов и для расчета концентрации газа во флюиде в гидратной зоне $c_{eq}(T) = c_{eq}(T_3(P)) \exp((T - T_3(P)) / \tau)$, где $\tau \sim 10$ °C, также должно быть задано давление на поверхности бассейна, отражающее его глубину; $T_3(P)$, положение фазовой границы равновесия в плоскости температуры и давления рассчитываются из уравнений термодинамики [Davie, Zatsepina, Buffett, 2004; Zatsepina, Buffett, 1997]. Для газового гидрата ставится естественное условие равенства нулю его содержания в порах вне границ стабильности.

¹ Обозначения аналогичны принятым в [Суетнова, 2007, 2011].

Сформулированные уравнения отражают не только влияние процесса осадконакопления и уплотнения осадков на аккумуляцию газовых гидратов, но и влияние накопления газовых гидратов в поровом пространстве на течение этих базовых процессов.

Решение

Для численного решения система приводилась к безразмерному виду. Эта процедура приводит к выявлению характеристических для рассматриваемой задачи масштабов длины и времени, определяемых уплотнением осадков [Suetnova, Vasseur, 2000]. В безразмерном виде после ряда преобразований с учетом граничных условий в системе координат, движущейся со скоростью погружения основания осадков, система уравнений модели записывается как

$$\frac{\partial m}{\partial t} = (\alpha - m(1-h)) \frac{\partial v}{\partial y}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = -mp - mD \frac{\partial p}{\partial t}, \quad (9)$$

$$v = -(m(1-h))^3 \left(\frac{\partial p}{\partial y} + 1 \right), \quad (10)$$

$$v_f = (\alpha - m(1-h))v / (m(1-h)), \quad (11)$$

$$\frac{\partial m(1-h)c}{\partial t} + \frac{\partial v_f m(1-h)c}{\partial y} = -(c_h - c)m \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (12)$$

$$V = V_0 / (L/T) = V_0 \mu / \Delta \rho g k_0 m_0^3, \quad (13)$$

где V – безразмерная скорость движения границы (флюидодинамический параметр подобия – отношение скорости наращивания пористого слоя к скорости флюидизации);

v – скорость матрицы среды; $\alpha = 1/m_0$; шкалы длины и времени равны $L = \sqrt{\frac{\eta_0 k_0 m_0^{(l-1)}}{\mu}}$;

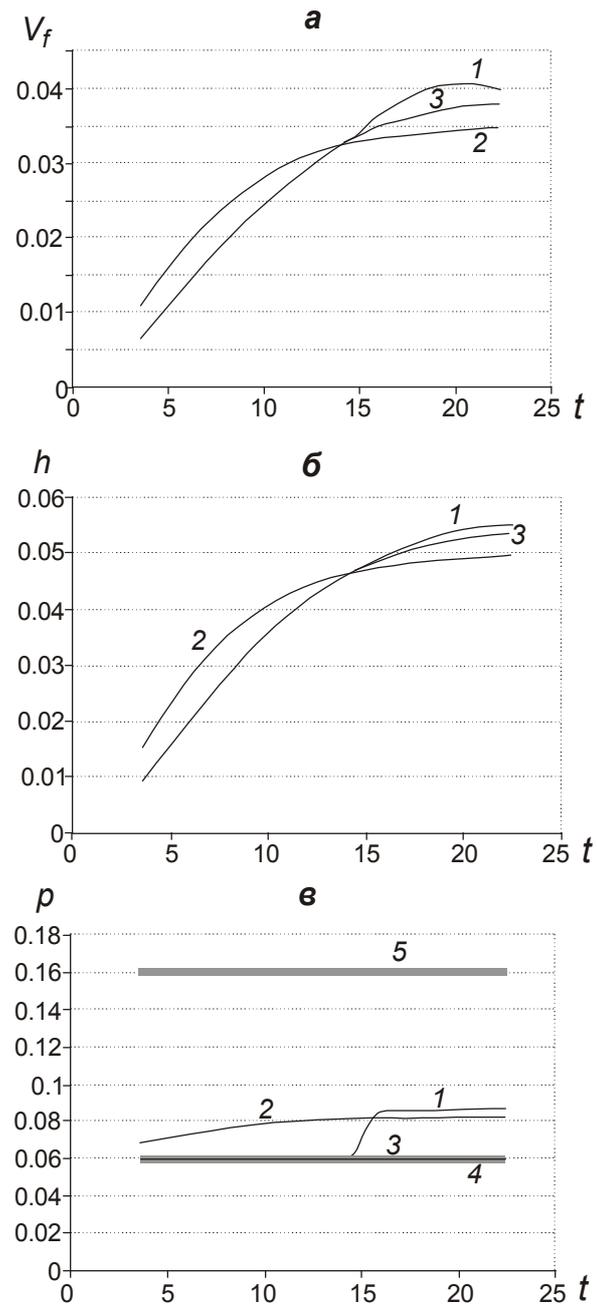
$T = \frac{(\eta_0 \mu)^{1/2}}{\Delta \rho g m_0^2 (k_0)^{1/2}}$; $D = \beta \eta_0 / T$ – реологический параметр (критерий) подобия. В уравне-

ниях (8)–(12) все коэффициенты и переменные – безразмерные величины.

Система решалась численно в безразмерном виде в растущей области; проверка устойчивости осуществлялась по двум критериям [Suetnova, Vasseur, 2000; Суетнова 2003]. Значения входящих параметров среды осадков и скорости осадконакопления соответствуют типичным параметрам для гидратосодержащих регионов [Суетнова, 2009, 2011]. Для расчетов брались характерные базовые значения параметров осадконакопления: плотность флюида $\rho_f = 1 \cdot 10^3$ кг/м³, плотность вещества осадков $\rho_s = 2.6 \cdot 10^3$ кг/м³, проницаемость поступающих осадков $k_0 = 10^{-13}$ м², вязкость флюида $\mu = 2.5 \cdot 10^{-3}$ Па·с, вязкость поступающих осадков $\eta_0 = 5 \cdot 10^{20}$ Па·с, скорость осадконакопления $V_1 = 10^{-10}$ м/с, что соответствует репрезентативным значениям свойств осадков и скорости их накопления, известным по геофизическим данным. Внешнее давление (глубина акватории) и тепловой градиент выбирались согласно работе [Zatsepina, Buffett, 1997] такими, чтобы мощность зоны стабильности газовых гидратов составляла около 700 м. Финальная мощность осадков в процессе скомпенсированного осадконакопления принималась равной 6000 м.

Эволюция скорости фильтрации к поверхности порового флюида в ходе накопления и уплотнения осадков (а), гидратонасыщенности (б) и порового давления (в) на нижней границе стабильности газовых гидратов

1 – уменьшение коэффициентов вязкости и проницаемости поступающих на поверхность дна осадков ($\eta_1=0.5\eta_0$, $k_1=0.01k_0$) с момента безразмерного времени 14.8; 2 – постоянные пониженные значения коэффициентов эффективной вязкости и проницаемости поступающих на дно осадков ($\eta_1=0.5\eta_0$, $k_1=0.01k_0$); 3 – базовые значения постоянных коэффициентов эффективной вязкости и проницаемости (η_0 , k_0) поступающих на дно осадков; серые утолщенные линии на в – гидростатическое (4) и литостатическое (5) давление



Для анализа закономерностей влияния на эволюцию порового давления и аккумуляцию газовых гидратов изменений флюидодинамических и реологических характеристик осадков, поступающих в различные периоды осадконакопления, численно исследовался случай осадконакопления, при котором вначале поступали осадки с базовыми значениями коэффициентов проницаемости и вязкости, а затем менее проницаемые и менее вязкие осадки ($\eta_1=0.5\eta_0$, $k_1=0.01k_0$).

Кривые 1 на рисунке в безразмерном виде представляют результаты расчетов эволюции скорости адвекции порового флюида (а), а также гидратонасыщенности пор (б) и порового давления (в) на нижней границе зоны гидратов для этого случая.

Для сравнения на графиках приведены результаты расчетов тех же параметров для однородного осадконакопления с пониженными значениями коэффициентов проницаемости и вязкости поступающих осадков – $\eta_1=0.5\eta_0$, $k_1=0.01k_0$ (кривая 2), и с базовыми их значениями (кривая 3). Кривые 4 и 5 на графике порового давления (в)

представляют соответственно гидростатическое и литостатическое давление на нижней границе гидратов. Тепловой режим, скорость осадконакопления и все остальные входящие параметры модели принимались одинаковыми для всех вариантов представленных расчетов.

Обсуждение результатов и выводы

Результаты модельных расчетов, представленные на рисунке, показывают, что последовательное накопление слоев осадков с разными флюидодинамическими и реологическими свойствами вносит существенные изменения в эволюцию порового давления и скорости адвекции порового флюида и гидратонасыщенности в интервале глубин стабильности газовых гидратов по сравнению с вариантами однородного осадконакопления. Для рассмотренных условий седиментации накопление осадков с пониженными значениями вязкости и проницаемости (рисунок *a*, кривая 2) приводит к большей гидратонасыщенности пор по сравнению с гидратонасыщенностью при накоплении осадков с базовыми значениями вязкости и проницаемости (там же, кривая 3). При этом рост гидратонасыщенности носит нелинейный характер, и различие значений гидратонасыщенности уменьшается со временем (там же, кривые 2, 3). Результаты предыдущего моделирования показали, что накопление менее проницаемых осадков при однородном осадконакоплении уменьшает гидратонасыщенность, а накопление менее вязких осадков приводит к увеличению гидратонасыщенности по сравнению с накоплением осадков с базовыми (большими) значениями этих параметров [Суетнова, 2011, 2013]. Таким образом, для выбранных в настоящей работе модельных примеров возможных изменений вязкости и проницаемости оказывается, что снижение вязкости играет доминирующую роль в характере изменения гидратонасыщенности по сравнению с гидратонасыщенностью при базовых величинах параметров осадков и однородном осадконакоплении. Согласно модельным расчетам, после начала накопления осадков с пониженной вязкостью и проницаемостью возрастает производная роста гидратонасыщенности, в результате чего гидратонасыщенность пор превышает гидратонасыщенность при однородном накоплении осадков с пониженной вязкостью и проницаемостью за то же время. Этот результат объясняется тем, что более быстрый рост гидратонасыщенности начинается тогда, когда определенный объем гидратов уже накоплен. Превышение гидратонасыщенности по сравнению с вариантом однородного осадконакопления зависит от времени, когда происходит понижение вязкости поступающих на дно осадков.

Однако, дальнейшие исследования могут выявить порог уменьшения проницаемости поступающих осадков, при котором эффект снижения проницаемости начнет превалировать над эффектом снижения вязкости. Скорость адвекции порового флюида, определяющая транспорт растворенного газа в область стабильности газового гидрата, демонстрирует аналогичный (нелинейный) характер эволюции во времени (рисунок *b*, кривые 1, 2, 3). Поровое давление на нижней границе гидратного слоя после начала накопления осадков с меньшей вязкостью и проницаемостью становится надгидростатическим и превышает поровое давление, формирующееся при накоплении однородных осадков за то же время (*b*, кривая 1). Потенциально рост градиента порового давления должен приводить к увеличению мощности зоны стабильности газовых гидратов при том же градиенте температуры в осадках. В рассмотренном в данной работе случае этот рост составляет около 10 м. Такое изменение мощности слоя стабильности за счет изменения давления флюида несущественно по сравнению с изменениями, которые могут быть следствием изменения температуры [Xu, Lowel, Peltzer, 2001]. При выбранных типичных параметрах осадконакопления подобное превышение гидростатического давления не создает условий для гидроразрыва на границе гидратного слоя. Ниже гра-

ницы стабильности гидратов при их разложении вследствие погружения при осадконакоплении давление не достигает уровня гидроразрыва при гидратонасыщенности порядка 6%, как показывают расчеты для гипотетически высоких уровней порового давления, превышающих гидростатическое [Xu, Germanovich, 2006]. Надо отметить, что следствием более значительного уменьшения коэффициента проницаемости (нетипичный случай), которое может привести к большему увеличению порового давления на нижней границе гидратного слоя, может быть также и формирование условий гидроразрыва. Однако такое значительное снижение проницаемости нужно рассматривать как гипотетический, нетипичный случай [Xu, Germanovich, 2006], что выходит за рамки данного исследования.

Из рассмотрения представленных модельных примеров следует, что изменения в составе осадков, которые происходят в геологической истории осадконакопления, определяют количественные и временные рамки эволюции порового давления и гидратонасыщенности морских осадков. Накопленные результаты моделирования разложения газовых гидратов при изменении (повышении) придонной температуры [Xu, Lowell, Peltzer 2001] позволяют сделать вывод о нестационарности поддонных скоплений газовых гидратов. Изменение типа осадков в ходе истории осадконакопления приводит к развитию возмущения порового давления, скоростей уплотнения, фильтрации и, как следствие, скорости аккумуляции газовых гидратов в порах.

Проведенное математическое моделирование показало, что уменьшение проницаемости и вязкости поступающих на дно осадков в зависимости от величины этого уменьшения в определенные моменты осадконакопления может приводить со временем к увеличению градиента порового давления и увеличению скорости аккумуляции газовых гидратов и гидратонасыщенности порового пространства по сравнению с гидратонасыщенностью при однородном осадконакоплении. Таким образом, представленные результаты описывают более реалистичскую нестационарную картину эволюции газогидратных скоплений при разных вариантах процесса осадконакопления.

Литература

- Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. М.: ВНИИОкеангеология, 1994. 199 с.
- Суетнова Е.И. Уплотнение неоднородных осадков вязкоупругой реологии // Физика Земли. 2003. № 1. С.77–83.
- Суетнова Е.И. Накопление газгидратов и уплотнение накапливающихся осадков: проблема взаимовлияния процессов // Докл. РАН. 2007. Т. 415, № 6. С.818–822.
- Суетнова Е.И. Влияние реологических и гидродинамических свойств накапливающихся осадков на процессы уплотнения и гидратонакопления (по результатам математического моделирования) // Изв. вузов. Сер. геология и разведка. 2009. № 1. С.52–55.
- Суетнова Е.И. Аккумуляция газовых гидратов в морском дне при последовательном накоплении осадков с различными транспортными свойствами // Докл. РАН. 2011. Т. 438, № 6. С.813–816.
- Суетнова Е.И. Аккумуляция газовых гидратов в порах в процессе уплотнения наращиваемой реологически слоисто-неоднородной среды осадков // Геофизические исследования. 2013. Т. 14, № 1. С.30–35.
- Davie M.K., Buffett B.A. A numerical model for the formation of gas hydrate below the seafloor // J. Geophys. Res. 2001. V. 106, N B1. P.497–514.
- Davie M.K., Buffett B.A. Sources of methane for marine gas hydrate: inferences from a comparison of observations and numerical models // Earth Planet. Sci. Lett. 2003. V. 206, N 1/2. P.51–63.
- Davie M.K., Zatsepina O.Ye., Buffet B.A. Methane solubility in marine hydrate environments // Marine Geology. 2004. V. 203. P.177–184.

- He L., Matsubayashi O., Lei X. Methane hydrate accumulation model for the Central Nankai accretionary prism // *Marine Geology*. 2006. V. 227. P.201–214.
- Liu X., Flemings P.B. Dynamic multiphase flow model of hydrate formation in marine Sediments // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. B03.101.
- Sloan E.D. *Clathrate Hydrates of Natural Gases*. N.Y.: Marcel Dekker, 1998. 705 p.
- Steurer J.F., Underwood M.B. Clay mineralogy of mudstones from the Nankai Trough reference Sites 1173 and 1177 and frontal accretionary prism Site 1174 // *Proc. ODP. Sci. Results*. 190/196 / Eds. H. Mikada, G.F. Moore, A. Taira, K. Becker, J.C. Moore, A. Klaus. 2003. P.1–37. Ms 190SR-211. World Wide Web: <<http://www-odp.tamu.edu/publications/>
- Suetnova E.I., Vasseur G. 1-D Modelling rock compaction in sedimentary basin using visco-elastic rheology // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2000. V. 178. P.373–383.
- Xu W., Lowell R., Peltzer E.T. Effect of sea floor temperature and pressure variations on methane flux from a gas hydrate layer: comparison between current and late Paleocene climate conditions // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106, N B1. P.26413–26423.
- Xu W., Germanovich L. Excess pore pressure resulting from methane hydrate dissociation in marine sediments: a theoretical approach // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. B01104. doi: 10.1019/2004JB003600.
- Zatsepina O.Ye., Buffett B.A. Phase equilibrium of gas hydrate: implication for the formation of hydrate in the deep sea floor // *Geophys. Res. Lett.* 1997. V. 24, N 13. P.1567–1570.

Сведения об авторе

СУЕТНОВА Елена Ивановна – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-92-95. E-mail: Elena_suetnova@mail.ru

PORE PRESSURE EVOLUTION AND GAS HYDRATE ACCUMULATION DURING SEQUENTIAL DEPOSITION OF SEDIMENTS WITH DIFFERENT HYDRODYNAMIC AND RHEOLOGICAL PROPERTIES

E.I. Suetnova

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Peculiarity of the evolution of gas hydrate accumulation in ocean floor was investigated by numerical modeling for the case of sequential deposition of sediment material having different permeability and effective viscosity. Model calculations show that the decrease of viscosity and permeability of sediments which precipitates on to sea floor after certain time essentially increases the rate of gas hydrate accumulation from dissolved gas, pore fluid velocity and pore pressure. The value of such an increase depends nonlinearly on decreasing of permeability and effective viscosity and time. Calculations show that hydrate saturation and pore pressure depend on hydrodynamic and rheological properties of current sediments as well as their values in the past.

Keywords: sedimentation, gas hydrate, compaction, rheology, numerical modeling.