

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК
ЦЕНТР АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ

на правах рукописи

Костюченко Юрий Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОМАССООБМЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ НАД УГЛЕВОДОРОДНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ
ШЕЛЬФОВЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ВИД ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ
МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

01.04.12 геофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук.

КИЕВ - 1997

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00752427 (R)

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК
ЦЕНТР АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ

на правах рукописи

Костюченко Юрий Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОМАССООБМЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ НАД УГЛЕВОДОРОДНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ
ШЕЛЬФОВЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ВИД ТЕПЛОвого ПОЛЯ
МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

01.04.12 геофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук.

КИЕВ - 1997

ЛНБ им. В. Стефаника
АН Украины

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Центре аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН
Украины.

Научный руководитель:

член-корреспондент НАН Украины, доктор геолого-минералогических наук
В.И.Лялько.

Официальные оппоненты:

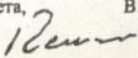
1. член-корреспондент НАН Украины, доктор физико-математических наук
А.Д.Федоровский
2. кандидат геолого-минералогических наук В.А.Цвященко

Ведущая организация: Морской гидрофизический институт НАН Украины,
г.Севастополь.

Защита состоится «28» марта 1997 г. в 14 часов на заседании специализированного
ученого совета Д 01.09.03 Центра аэрокосмических исследований Земли НАН
Украины, Киев, ул. О.Гончара, 55-б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геологических наук
НАНУ, Киев, ул. О.Гончара, 55-б.

Автореферат разослан «25» 02 1997 г.

Ученый секретарь специализированного ученого совета, В.Н.Крат
кандидат геолого-минералогических наук 

Общая характеристика работы.

Актуальность проблемы.

Одним из способов решения проблемы недостатка энергоносителей является изыскание новых путей поиска нефти и газа. Разработку методов прямого поиска промышленных скоплений углеводородов, как одну из наиболее сложных проблем нефтегазовой геологии, следует рассматривать в качестве необходимого условия скорейшего освоения энергетических ресурсов Украины. Однако, решение указанной задачи крайне сложно, его можно достичь лишь на основе внедрения в практику поиска месторождений передовых технологий, повышающих эффективность геологоразведочного процесса. Накопленный за последние два десятилетия в мире опыт показывает, что методы дистанционного зондирования с борта космических аппаратов и авиационных носителей характеризуются высокой эффективностью применения в комплексе геологоразведочных работ. Продолжающийся процесс теоретического и технического совершенствования дистанционных методов позволяет сегодня переходить к решению более сложных задач, выдвигаемых все более усложняющимся процессом геологоразведочных работ. С точки зрения поисков новых запасов энергоносителей, особое значение приобретает применение дистанционных методов в исследовании морских акваторий на предмет поиска углеводородных залежей в шельфовых областях. В этом случае основой метода является исследование теплового поля морской поверхности на предмет обнаружения поверхностных температурных аномалий, связанных с углеводородными залежами.

Вопрос о характере аномалий температурного поля морской поверхности, связанных с залежами углеводородов, наряду с рассмотрением механизмов их генерации, освещается уже более двадцати лет. Как правило, он рассматривается в отдельном контексте описания формирования температуры поверхности моря и причин ее дифференциации. Кроме того, неоднократно проводились измерения температурных аномалий, как в процессе комплексного изучения морской поверхности, так и непосредственно приуроченные к нефтегазопроисковым работам. Наконец, аномалии обнаруживаются при изучении космической информации - например, тепловых снимков с КА NOAA. Однако, применение дистанционных методов требует наличия достаточно эффективных информационных признаков, какими в данном случае являются параметры, характеризующие возникающие тепловые аномалии. Таким образом, из требования повышения эффективности информационных признаков следует необходимость создания специфических физико-математических моделей механизмов и процессов, эти признаки формирующих. Становится актуальным построение универсальной общей модели формирования и поведения тепловой аномалии в жидкости, многопараметрической, в виде набора систем формальных уравнений, созданной на основе общих гидромеханических и термодинамических представлений, анализе частных решений и эмпирических данных различных исследователей.

Цели и задачи исследования.

Целью настоящего исследования является рассмотрение задачи о влиянии энергомассообменных процессов над углеводородными залежами шельфовых

областей, происходящих в системе, которая включает в себя исходящие от залежи углеводородные газы и тепло и толщу морской воды, ограниченную снизу слоем донных осадков, а сверху - атмосферой, на поле температур поверхности моря, в контексте использования дистанционных методов исследования морской поверхности.

Достижение этой цели предполагает поэтапное рассмотрение следующих задач:

- построение физико-математической модели поведения формирующих аномалию процессов;

- получение набора формальных параметрических решений согласно построенной модели;

- построение замкнутой модели формирования аномалии температуры морской поверхности над шельфовыми залежами углеводородов как численного решения формальных уравнений;

- анализ полученной численной модели, который должен включать в себя: во-первых, необходимые положения практической методики дистанционного поиска и исследования температурных аномалий морской поверхности, описываемых моделью,

- и во-вторых, применение результатов моделирования для обработки и анализа результатов дистанционной съемки.

Научная новизна.

1. Рассмотрению динамических и тепловых процессов, протекающих в толще морской воды, посвящено много работ. Однако, несмотря на то, что с

одной стороны, в этих работах с разных позиций рассматриваются различные аспекты решения основных гидродинамических уравнений и их следствия для множества частных случаев, с другой стороны, вопросы формирования аномалий в местах углеводородных залежей, как правило, сводятся к описательным моделям или к простейшим стационарным решениям для некоторых частных случаев. Таким образом, научная новизна диссертационной работы заключается, в первую очередь, в методологическом подходе к рассмотрению энергообменных процессов в рассматриваемой системе (пограничный слой 'вода-донные осадки' -- исходящие от залежи углеводородные газы и тепло -- толща морской воды -- пограничный слой 'вода-атмосфера'), как специфически формирующих информативные признаки областей газопроявлений и рассмотрение поведения аномалии с этой точки зрения.

2. В процессе рассмотрения общей задачи были получены оригинальные аналитические модели: а) формирования поля теплоемкости смеси углеводородных газов при изменении динамических характеристик внешней среды в развитии термодинамических процессов, б) решения задачи о нарушении восходящим газо-жидкостным потоком термического слоя на границе раздела 'вода-атмосфера', и в) оценочное аналитическое решение задачи о сносе аномального теплового следа на поверхности моря относительно места газопроявления за счет особенностей динамики жидкой среды.

3. При моделировании процессов диссипации массы и тепла в динамически неоднородной среде, был применен специфический объектно-

ориентированный стохастический подход, что ранее применялось лишь для упрощенно-формализованных, обобщенных моделей.

Положения, выносимые на защиту.

1. Построение непротиворечивой и вполне замкнутой физико-математической модели поведения энергомассообменных процессов, формирующих температурную аномалию поверхности моря над шельфовыми углеводородными залежами, и построение многопараметрической численной модели формирования температурных аномалий.

2. Исходя из анализа решений и эмпирических данных, полученных различными исследователями [Монин, Красицкий, (1968); Черноусько, (1971); Бортковский, (1975); Хунджуа, (1977)], построение ряда необходимых положений практической методики дистанционного поиска и исследования температурных аномалий морской поверхности.

3. Применение накопленных в процессе исследования теоретических и методических решений в целях обработки дистанционных тепловых изображений северо - западной акватории Черного моря, полученных с КА NOAA для поиска областей газопроявлений.

Практическая значимость работы.

Представленная работа является, в первую очередь, теоретическим исследованием, практическую значимость которого оценить достаточно сложно. Однако, оно обретает практическую ценность как часть комплекса методов прямого поиска скоплений углеводородов на основе аэрокосмогеологических исследований. Разработка рассматриваемых методов

в Центре аэрокосмических исследований Земли НАНУ ведется около четырех лет. Полученные результаты свидетельствуют о высоких потенциальных возможностях, еще не реализуемых в полной мере, комплексных дистанционных методик для оптимизации процесса поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа, а также в процессе геоэкологических исследований. Так, на основе комплексного анализа особенностей расположения и характера температурных поверхностных аномалий, картины развития установленных разрывных нарушений, строения и характера развития структур Евпаторийская и Приднепровская на северо-западном шельфе Черного моря, были сформулированы рекомендации к оптимизации проведения буровых работ и сделаны выводы о причине получения отрицательных результатов по имеющимся скважинам [Перерва В.М., Лялько В.И., Косточенко Ю.В. и др., (1995)]. Кроме того, установлены уверенно выделяемые аномалии по некоторым другим структурам - Украинской, Шельфовой, Биогермной, Биостромной - не охарактеризованным поисковым бурением, которые рекомендованы к постановке поисковых работ.

Оценивая в целом состояние исследований по разрабатываемой проблеме, перспективы их дальнейшего развития, можно заключить, что полученные практические результаты можно рассматривать как подтверждение научной обоснованности концепций методов и методологии исследований.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 153 наименований, в том числе 65 работ зарубежных

авторов, и содержит 135 страниц текста, 2 таблицы и 18 иллюстраций; в качестве приложения приводится текст одной из программ для численного моделирования рассматриваемых процессов.

Содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи исследования, проводится постановка задачи, рассматривается история и состояние исследований в данной области.

В первой главе рассматриваются теоретические основы решения поставленной задачи. Для этого приводятся основные системы уравнений, описывающих рассматриваемые процессы и их решения, позволяющие впоследствии построить методику расчетов и получить точные численные модели. Также делаются качественные оценки влияния некоторых эффектов, таких как возможный подогрев пограничного слоя 'вода - донные осадки' идущим от залежи теплом; явление влияния сверхадиабатического градиента в придонном слое воды на термодинамические процессы в газо-жидкостной смеси; влияние динамических возмущений малых порядков на движение смеси, и некоторых других, на общую картину распределения и взаимосвязи процессов. Особое внимание уделяется описанию процессов, происходящих в термическом слое на границе раздела 'вода - атмосфера' и формирующих тепловое поле морской поверхности, как входящих в непосредственную формулировку задачи и прямо влияющих на формирование аномалии; и, кроме того, вопросам, связанным с динамической диссипацией среды, как качественно необходимым для получения корректных решений.

1. В связи с возможностью подогрева донных осадков, пограничного слоя 'вода-донные осадки' и нижних слоев воды теплом, идущим от залежи, были рассмотрены тепловые и динамические эффекты в системе: верхний слой осадков -- пограничный слой 'вода - донные осадки' -- нижний квазиоднородный слой воды, в рамках стационарной модели Джефриса-Бенара с учетом возможности придонного течения. Были получены точные аналитические решения для всех рассмотренных случаев, однако качественный анализ решений показал, что тепловая волна должна затухнуть еще в толще донных осадков, что согласуется с результатами придонных геотемпературных экспериментов [Артеменко, Миловицкий, (1985)]. На этом основании был сделан вывод о том, что данный эффект не может повлиять на общий характер распределения температуры в жидкости. Однако, учитывая принципиальную возможность проявления тепловых эффектов на границе раздела 'вода-донные осадки', обусловленных взаимодействием тепловой волны со средами с различными термодинамическими характеристиками, был проведен оценочный анализ данного явления для моделей с разными глубинами, характеристическим рельефом и температурными режимами, который позволил выделить, как требующие отдельного аналитического рассмотрения, случаи больших глубин (более полутора-двух километров) из-за эффектов, обусловленных высоким давлением, и случай так называемой 'мелкой воды' (в нашей модели до 10 метров глубины). Однако, в рамках рассматриваемой модели с принятыми глубинами от 50 до 500 метров, вышесформулированный вывод о пренебрежимости эффектами подогрева остался в силе.

2. Процесс увлечения поднимающимся газом глубинных слоев жидкости к поверхности - эрлифтный процесс рассматривался как представление задачи о движении пузырьковой газожидкостной смеси в рамках модели Прандтля со скольжением фаз и представлялся следующей системой уравнений [Федоровский, Никифорович, Приходько, (1989)]:

$$(\rho_1 \alpha_1 + \rho_2 \alpha_2) v \frac{dv}{dz} + g \frac{dp_1}{dz} = 0$$

$$\rho_1 = \rho_2 - \frac{2\sigma}{R} \quad (1)$$

$$\rho_2 = \rho_2 B T_1$$

где В-газовая постоянная; α_1 и α_2 - объемные концентрации фаз, причем $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$; g - ускорение свободного падения; ρ , Р и Т - плотность, давление и температура соответственно, индекс 1 относится к жидкой фазе, 2 - к газообразной. Так как при этом имеет место случай скольжения фаз, то есть $v_1 \neq v_2$,

$$v_2 - v_1 = k_{dv} v^{[0]} \quad (2)$$

$$\text{где } k_{dv} = 0.017 \cdot \bar{R}^2 + 0.011 \cdot \bar{R} + 0.09 \quad (3)$$

\bar{R} - средний радиус пузырька, то при некоторых упрощениях можно получить выражение для связи скоростей, массы фаз и координат:

$$z = \int \frac{p^{\frac{1}{2}}}{A_1} \left\{ \frac{A_2 \left[(A - Bp - c \ln p)^{\frac{1}{2}} + D \right]}{p} - A_3 + \frac{A_2 \left(B - \frac{c}{p} \right)}{2(A - Bp - c \ln p)^{\frac{1}{2}}} \right\} dp + c' \quad (4)$$

где c' - константа интегрирования. Значения коэффициентов:

$$\begin{aligned}
A &= \left(w_{10} + \frac{a}{K_m + 1} \right) + \frac{2K_m \rho_0 g}{\rho_{10} (K_m + 1)} + \frac{2g \rho_0 \ln p_0}{\rho_{20} (K_m + 1)}, \\
A_1 &= \frac{3}{8} \frac{c_x a^2}{R_0 \rho_0^2}, \\
A_2 &= \mu a, \\
A_3 &= \frac{g}{\rho_{10}}, \\
C &= \frac{2g \rho_0}{\rho_{20} (K_m + 1)}, \\
D &= \frac{a K_m}{K_m + 1},
\end{aligned} \tag{5}$$

здесь μ - коэффициент присоединенной массы, K_m - массовое соотношение фаз; c_x - коэффициент сопротивления жидкости;

3. Рассматривая явление адиабатического расширения газовых пузырьков в жидкости, для произвольного пузырька радиуса R , мы можем применить классическое динамическое уравнение типа Рэлея:

$$\begin{aligned}
\frac{g}{\rho_1} (p_1^b - p_1^a) = \frac{dR}{dt} \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{1}{4\pi R^2 \rho_1} \left(\frac{dR}{dt} + \frac{1}{8\pi R^2 \rho_1} \right) + \\
+ \frac{4\mu_1}{\rho_1 R} \left(\frac{dR}{dt} + \frac{1}{4\pi R^2 \rho_1} \right) - \frac{\mu_1}{4} (\bar{v}_2 - \bar{v}_1)^2,
\end{aligned} \tag{6}$$

где V_2 - скорость центра масс пузырька. Делая некоторые простые допущения, можно получить:

$$\frac{p_2}{p_{20}} = \frac{p_2}{p_{20}} \frac{T_2}{T_{20}} = \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 \frac{T_2}{T_{20}} = \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3n} = \left(\frac{T_2}{T_{20}} \right)^{\frac{n}{n-1}}, \tag{7}$$

где показатель n для рассматриваемого нами адиабатического процесса: $n = c_p/c_v$, где c_p и c_v - значения теплоемкостей расширяющегося газа при постоянном давлении и объеме соответственно (изобарическая и изохорическая теплоемкости). Кроме того, примем следующее общее уравнение межфазного теплообмена:

$$q = 4\pi R^2 \beta (T_2 - T_1) \quad (8)$$

где β - коэффициент теплопередачи.

4. Система уравнений теплообмена через границу раздела 'вода атмосфера' может быть описана общим уравнением теплового баланса температурного пограничного слоя:

$$q = -c_{\text{пр}} \rho_w (\chi_w + k_w) \frac{\partial \theta}{\partial x} = -c_{\text{пр}} \rho_w K_w \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (9)$$

где θ - температура поверхности в смысле усреднения по ансамблю реализаций, χ_w и k_w - коэффициенты молекулярной и турбулентной теплопроводности воды.

Перепад температур в пограничном слое можно представить (аналогично: Мониин, Красицкий, (1975)):

$$\Delta \theta_s = c_0^{-1/4} \left(\frac{v_w}{g \alpha c_{\text{пр}} \rho_w \chi_w^2} \right)^{1/4} q_1^{3/4} c_2 \quad (10)$$

где c_0 - константа; α - коэффициент объемного расширения воды; q_1 - поток тепла за счет турбулентной теплопроводности; c_2 - коэффициент пропорциональности, возникающий за счет нарушения скин-слоя потоком газа, как правило $c_2 \in [0; 0.35]$. Этот коэффициент возникает как решение задачи о взаимодействии пузырькового потока со слоями турбулентного и молекулярного переноса в пограничном слое.

5. Рассмотрение динамической диссипации энергии, массы и количества движения проводится в рамках одной общей модели, основанной на теории турбулентных движений Колмогорова. Считая любое движение смеси обладающим некоторой мерой неупорядоченности и исходя из описания поведения флуктуаций скорости вида (Колмогоров, (1941)):

$$\langle |\Delta u(t_n)|^p \rangle = \int \prod_{i=1}^n d\beta_i p(\beta_1, \dots, \beta_n) |\beta_n|^p \quad (11)$$

и распределения вероятности порождения колмогоровских вихрей (в соответствии с методом Frish, Salem, (1990)) вида:

$$p(\beta) = \chi \delta(\beta - 0.5) + (1 - \chi) \delta(\beta - 1) \quad (12)$$

строится методика моделирования динамической диссипации в пузырьковой газожидкостной смеси.

Кроме того, проводится рассмотрение других механизмов формирования аномалии теплового поля морской поверхности, не входящих в формулировку задачи. Так, во-первых, рассматривается на уровне оценочных расчетов, возможность образования аномалии за счет взаимодействия внутренних волн в термоклине, порождаемых динамическими потоками в жидкости. В этом случае рассмотренные ранее процессы обмена становятся 'триггером' для непосредственно порождающих аномалию явлений [Мирошольский и Монин, (1978) и Федоровский, (1979)]. Здесь же оценивалась возможность появления аномалий теплового поля морской поверхности, обусловленных внутренними волнами, генерируемыми особенностями вида рельефа дна [Арсеньев (1984, 1985), Монин и Озмидов (1981), Лебедев, Пустовойтенко, Савоськин, Станичный (1995)] оценка проводилась на основе теоретической модели турбулентности Колмогорова - Прандтля - Кармана. Во-вторых, была рассмотрена возможность изменения температуры поверхности за счет влияния гидрометеопараметров, в первую очередь - ветра. Были рассмотрены, как отдельные, случаи генерации внутренних волн в слое суточного прогрева за

счет ветра и ветровая генерация турбулентности за счет неравномерности передаваемого ветром момента количества движения.

Во второй главе описываются счетная методика численного моделирования полученных прежде аналитических решений и строятся основные положения практической методики дистанционного исследования теплового поля морской поверхности. Практические методические положения разрабатываются на основе полученных из вида теоретических решений предварительных оценок величин температурной поверхностной аномалии.

1. Вначале анализируется вид теоретических решений для получения предварительных оценок искомых величин аномалий. Анализ, основанный на линейной максимизации совокупности уравнений (4) - (8), описывающих рассматриваемую модель и набора эмпирических данных [Хунджуа, (1977); Бычкова и Виноградов, (1985)] позволяет, согласно [Артеменко, Маловицкий (1977)], оценить сверху абсолютную величину аномалии; а нижнее значение получается из уравнения (10). Исходя из этого, можно утверждать, что предельный диапазон возможного изменения точного значения тепловой аномалии описывается следующим множеством:

$$\Delta\theta_s \in [-3.95, 0.09] \text{ К}$$

Аппроксимация указанных уравнений позволяет, кроме того, получить оценки относительного вклада рассматриваемых процессов в абсолютную величину формирующейся аномалии [Федоровский, Никифорович, Приходько (1989), Перерва, Лялько, Костюченко и др. (1995)]. Такие оценки, в виде

процентного отношения, можно представить так: за счет газлифтного процесса формируется около 60% величины аномалии, адиабатического - 30%, и за счет поверхностных явлений - около 10%.

2. Далее, дается принципиальное описание счетной методики численной модели. Здесь описывается последовательность расчета процессов, приводятся системы численных уравнений и описывается способ реализации этой методики. Реализация иллюстрируется Приложением 1, где приводится типичная программа для расчета одной из возможных моделей решения исходных систем уравнений.

3. Наконец, в этой главе конструируются необходимые положения практической методики дистанционного исследования теплового поля морской поверхности на предмет обнаружения аномалий описываемой природы. Во-первых, из вида кривой годового хода температуры поверхности моря и анализа характера сезонного распределения ветров и течений в северо-западной части Черного моря, выбранной в качестве тестового участка, определяется оптимальное для съемок время года. Им является период со 2-ой декады июня по 1-ую декаду сентября. Во-вторых, из кривой суточного хода температуры поверхности и вида формирования тепловых потоков, входящих в уравнение теплового баланса поверхности раздела вода-воздух, определяется оптимальное время суток. Наилучшими для съемки являются, в таком случае, следующие интервалы времени: днем - [8;12] часов, и ночью - [22;3] часа. В-третьих, кроме этих, вполне очевидных требований к условиям проведения тепловой съемки,

включающих еще требования к метеоусловиям как то: отсутствие тумана, облачности и т.п., из вида уравнений теплового баланса поверхности, формулируется неочевидное условие 'необходимого ветра'. Дело в том, что полное отсутствие ветра приводит к образованию над поверхностью воды 'облака' водяных паров, которые сильно увеличивают поток переизлученной длинноволновой радиации. Значение скорости ветра, при котором скин-слой проявляется наиболее эффективно, как следует из нашего анализа, заключено в пределах:

$$V_{10} \in [0,35; 3,25] \text{ м/с}$$

где V_{10} - скорость ветра на высоте 10 метров над уровнем моря. И, наконец, как показывают статистические расчеты, наибольшая статистическая достоверность наблюдений (то есть вероятность обнаружения искомой аномалии при соблюдении всех сформулированных выше условий) будет достигнута в том случае, когда по исследуемой акватории будет сделано не менее 20 тепловых снимков, возможно в различные дни и даже годы, но в интервале оптимальных для поставленной задачи сезона и времени суток.

В третьей главе излагаются результаты численного моделирования, полученные на основании методик, оценочных выводов и результатов, приводимых в предыдущих главах. Кроме того, обсуждаются результаты, выявляются и описываются тенденции в характере развития и распределения аномалий.

В результате численного моделирования приведенных уравнений, в согласии с общей методикой, был получен ряд численных решений, количественно описывающих формирование тепловой аномалии. Так, на рис. 1. приведен профиль диссипационных потерь в пересчете на температуру, приведенный на слой по глубине до 500 метров.

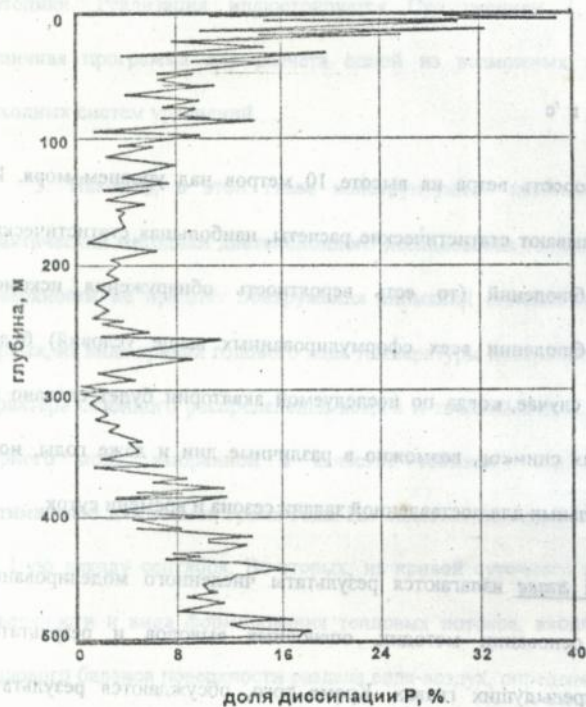


Рис. 1 Профиль диссипационных потерь из потока в жидкую среду при движении пузырьковой смеси.

Накладывая полученное влияние диссипации на профили поведения температуры с глубиной, можно получить окончательный вид распределения температурной аномалии. Здесь следует особо отметить, что различные рассмотренные процессы - газ-лифтный, адиабатический и эффект изменения температуры поверхности за счет взаимодействия энергообменных процессов в жидкости и на границе океан-атмосфера - делают различные вклады в величину формирующейся аномалии. Результаты численного моделирования позволяют сделать вывод о том, что в идеальном невозмущенном случае среднее процентное соотношение вкладов перечисленных процессов по совокупности полученных решений для различных значений аномалии выглядит следующим образом: за счет процесса выноса на поверхность глубинных вод (газ-лифтный процесс) - 65.9%, за счет процесса адиабатического расширения газа - 25.2%; за счет поверхностных явлений - 8.8%. Однако, для реально наблюдаемых значений аномалии - [0.2; 1.15] К по абсолютной величине - и с учетом диссипирующего влияния среды, это соотношение несколько изменится: газ-лифтный процесс - 69.25%; адиабатический - 19.02% и 11.72% для поверхностных явлений. Это позволяет сделать вывод о преимущественном воздействии газ-лифтного процесса. На рис.2. приведены усредненные результирующие профили распределения с глубиной значений тепловой аномалии, сформированной под общим воздействием вышеприведенных механизмов. Величина аномалии, около -1К, была выбрана как наиболее характерное значение понижения температуры морской поверхности, предположительно связанное с объектами

газовыделения. Такое значение было получено на основе анализа материалов тепловой космической съемки с борта спутника NOAA.

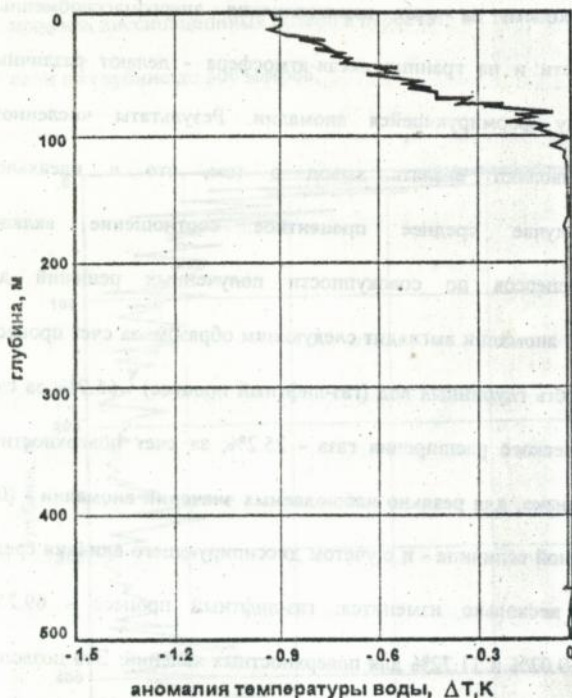


Рис.2 Усредненный профиль распределения значений аномалии температуры воды в зависимости от глубины.

Апробация результатов моделирования проводилась на материалах космической тепловой съемки по данным спутника NOAA (камера AVHRR, диапазон 10.3-11.3 мкм). Для анализа был использован набор из 20 снимков.

охватывающих период с 03.06 по 21.09.1993 года. Интерпретация материалов тепловой космической съемки проводилась на основе их синтеза по цветовым каналам. По каналу цветовой насыщенности полученного синтезированного изображения были выявлены участки устойчивых температурных аномалий, которые совпали с известными объектами газовой выделения. Статистический анализ данных о распределении температуры на выявленных участках снимков позволил обнаружить, что максимальное значение отклонения температуры на устойчиво аномальных участках относительно случайно возмущенной морской поверхности составляет 3.95K, среднее же значение понижения температуры - 1.48K для рассматриваемого периода. Эти данные находятся в хорошем соответствии с результатами моделирования.

Кроме того, проводится рассмотрение других механизмов формирования аномалии теплового поля морской поверхности, не входящих в формулировку задачи. Так, во-первых, рассматривается, на уровне оценочных расчетов, возможность образования аномалии за счет взаимодействия внутренних волн в термоклине, порождаемых динамическими потоками в жидкости. В этом случае рассмотренные ранее процессы обмена становятся 'триггером' для непосредственно порождающих аномалию явлений. Рассмотрение такой возможности, базирующееся на работах Миропольского и Моница, (1978) и Федоровского, (1979), показало, что:

- максимальный вклад в наблюдаемую величину аномалии такой механизм может дать при нестационарной эжекции газа в жидкость - около $\Delta T_1 \approx 0.7K$ по абсолютному значению;

- а при квазистационарном механизме возбуждения, когда постоянный поток одновременно является и диссипирующим кинетическую энергию волны механизмом, средняя абсолютная величина аномалии не превысит $\Delta T_1 \approx 0.3K$.

При этом следует заметить, что аномалии, обусловленные этим феноменом, будут иметь определенные пространственный - от 10^2 до 10^4 метров, и временной - от 2 до 5 часов, масштабы. Кроме того, рассматривалась возможность появления аномалий теплового поля морской поверхности, обусловленных внутренними волнами, генерируемыми особенностями вида рельефа дна. Такое рассмотрение, не претендующее, однако на полноту, базировавшееся на работах Арсеньева (1984, 1985), Монина и Озмидова (1981), Лебедева, Пустовойтенко, Савоськина, Станичного (1995) и строившееся на основе теоретической модели турбулентности Колмогорова - Прандтля - Кармана, позволяет оценить сверху величину таких аномалий значением $\Delta T_2 \approx 0.44 K$, которое, однако, есть все основания считать завышенным. Поэтому в оценочных расчетах использовалось среднее значение - $\Delta T_2 \approx 0.22 K$, находящее подтверждение в последней упомянутой работе среди данных экспериментальных исследований.

Во-вторых, была рассмотрена возможность изменения температуры поверхности за счет влияния гидрометеопараметров, в первую очередь - ветра.

Были рассмотрены, как отдельные, случаи генерации внутренних волн в слое суточного прогрева за счет ветра и ветровая генерация турбулентности за счет неравномерности передаваемого ветром момента количества движения. На основании работ Заславского и Мони́на (1978), Гинзбурга и Федорова (1979), Федорова, Гинзбурга и Питербарга (1981), Лебедева, Пустовойтенко, Савоськина, Станичного (1995) были получены оценки для этих механизмов: в первом случае - $\Delta T_3 \approx 0.02 - 0.07$ К, а во втором - до $\Delta T_4 \approx 0.5 - 0.7$ К. Характерные масштабы таких флуктуаций: временной - от 1 до 5 часов и пространственный - от 10^2 до 10^4 метров. Таким образом, аномалия температуры поверхности, обусловленная перечисленными выше процессами, может достигать величины 0.92 - 1.91 К за указанный в методических рекомендациях период наблюдения. Отметим однако, что при дистанционных наблюдениях с осреднением по полю зрения прибора, влияние описанных флуктуаций может быть и не значительно.

И наконец, работы Маловицкого (1977, 1979) и Арсеньева (1985), позволяют оценить величину аномалии температуры морской поверхности, обусловленную субгоризонтальными морскими течениями. Основываясь на приведенных в этих работах косвенных критериях оценки и эмпирических данных, величину изменения температуры поверхности за счет течений можно оценить как $\Delta T_5 \approx 0.26 - 0.48$ К. Таким образом, суммарное значение величины аномалии в совокупности с уже приведенными механизмами, составит $\Delta T_1 \approx 2.39$ К в максимуме и 1.29 К в среднем.

Из всего вышеизложенного следует, что описанные процессы не укладываются в рамки базовых положений, а потому не входят непосредственно в настоящее исследование, и могут быть рассмотрены лишь как влияющие извне на основной по объекту исследования механизм формирования аномалии. Изложенные выше оценочные и расчетные величины сведены в Таблицу 1.

Таблица 1. Распределение вкладов различных процессов в формирование наблюдаемых значений аномалии теплового поля морской поверхности.

| Вид процесса | | Абсолютное значение аномалии, К | Значение по отношению к наблюдаемой величине, % |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---|
| взаимодействие внутренних волн в термоклине ΔT_1 | $\max \Delta T_1$ | 0.7 | 17.7 |
| | $\langle \Delta T_1 \rangle$ | 0.3 | 21 |
| внутренние волны, генерируемые рельефом дна ΔT_2 | $\max \Delta T_2$ | 0.44 | 11 |
| | $\langle \Delta T_2 \rangle$ | 0.22 | 15.9 |
| внутренние волны ветровой генерации ΔT_3 | $\max \Delta T_3$ | 0.07 | 1.8 |
| | $\langle \Delta T_3 \rangle$ | 0.05 | 4.4 |
| ветровая генерация турбулентности ΔT_4 | $\max \Delta T_4$ | 0.7 | 17.7 |
| | $\langle \Delta T_4 \rangle$ | 0.35 | 24.6 |
| морские течения ΔT_5 | $\max \Delta T_5$ | 0.48 | 12 |
| | $\langle \Delta T_5 \rangle$ | 0.3 | 21 |
| вклад адиабатического процесса ΔT_6 | $\max \Delta T_6$ | 0.31 | 7.9 |
| | $\langle \Delta T_6 \rangle$ | 0.04 | 2.8 |
| вклад газлифтного процесса ΔT_7 | $\max \Delta T_7$ | 1.25 | 31.6 |
| | $\langle \Delta T_7 \rangle$ | 0.15 | 10.2 |
| суммарное значение $\Delta \theta$ | $\max \Delta \theta$ | 3.95 | 100 |
| | $\langle \Delta \theta \rangle$ | 1.48 | 100 |

Из этой таблицы видно, что вклад основных по объекту исследования механизмов, влияющих на создание наблюдаемого значения аномалии $\Delta\theta$, над альтернативными составляет в среднем 0.19 К, а в максимуме - 1.56 К; заметим, что эти оценки получились при предельной максимизации неосновных процессов.

В заключении обобщаются все приведенные ранее данные и приводятся выводы.

Основные выводы по работе.

1. Вся совокупность теоретических исследований и точных численных моделей является решением задачи о влиянии энергомассообменных процессов в жидкости над углеводородными залежами шельфовых областей на формирование и абсолютную величину аномалии теплового поля морской поверхности.

2. Опираясь на описанные решения и анализ эмпирических данных, были сформулированы приведенные выше положения, описывающие необходимые условия практической методики дистанционного исследования теплового поля морской поверхности, которые позволяют с наибольшей эффективностью обнаруживать поверхностные температурные аномалии.

3. Полученные предварительные результаты решения конкретной задачи поиска приуроченных к нефтегазовым структурам температурных

поверхностных аномалий, позволяющие идентифицировать на дистанционном изображении аномалии с характеристиками, соответствующими расчетным, свидетельствуют о возможности поисков нефтегазоносных объектов на северо-западном шельфе Черного моря, в рамках сформулированных положений, по материалам тепловой аэрокосмической съемки.

4. По построению теоретической модели энергомассообмена в жидкости над объектами газопроявлений на шельфе, набору теоретических решений и совокупности результатов численного моделирования предлагаются, как перспективные, следующие направления дальнейшей работы:

- детальное исследование возможности проявления аномалий рассматриваемой природы в других участках электромагнитного спектра (оптике, СВЧ-диапазоне) с построением соответствующих моделей, использование которых вместе с результатами настоящего исследования возможно позволит значительно повысить эффективность дистанционного изучения шельфа;
- построение точных численных моделей формирования и развития аномалий для конкретных условий других участков шельфа (полярные, тропические моря), что позволит выявить общие тенденции развития обусловленных динамикой газа энергомассообменных процессов (например, для разработки критериев отличия температурных аномалий, связанных со скоплениями углеводородов, от близких

температурных аномалий, генетически связанных с вертикальной миграцией глубинных газов);

- в качестве отдельного исследования предлагается создание методики дешифрирования материалов дистанционных наблюдений морских акваторий на предмет поисков проявления рассмотренных выше механизмов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации.

1. Перерва В.М., Лялько В.И., Костюченко Ю.В. Об эндогенной составляющей в температурной дифференциации Черного моря.// Геол. журн.-№3,-1995, -с.24-38.

2. Перерва В.М., Лялько В.И., Костюченко Ю.В. и др. Прямой поиск залежей нефти и газа дистанционными методами (предварительный опыт, перспективы развития).//препринт ЦАКИЗ ИГН НАН Украины,-Киев,- 1995,- с.124.

3. Костюченко Ю.В. Модель формирования теплового поискового сигнала при дистанционных поисках углеводородных залежей шельфовых областей.// Доклады НАН Украины,-№6,-1997.- в печати.



В роботі розглянена задача формування теплового поля морської поверхні над шельфовими покладами вуглеводнів. Побудована фізико-математична модель поведінки процесів енергомасообміну, які формують температурні аномалії поверхні, і багатопараметрична числова модель. Виходячи з аналізу рішень і емпіричних даних, одержаних різними дослідниками, побудовані необхідні положення практичної методики дистанційного дослідження морської поверхні, що дозволяють найбільш ефективно виявляти температурні аномалії. Набуті в процесі дослідження теоретичні і методичні рішення застосовані для пошуку областей газопрояву при обробці дистанційних теплових зображень північно-західної акваторії Чорного моря, одержаних з КА NOAA. Одержані попередні результати дозволяють ідентифікувати на дистанційних зображеннях аномалії з характеристиками, які відповідають розрахунковим, що свідчить про можливість пошуку нафтогазоносіїв в рамках сформульованих положень, за матеріалами теплової аерокосмічної зйомки.

In work a problem about formation of a thermal field of a sea surface over shelf oil-gas deposits is considered. Physico-mathematical model of behaviour of heat-mass transfer processes, forming temperature anomalies of a surface, and multiparametrical numerical model is constructed. Proceeding from the analysis of the decisions and empirical data, received by the various researchers, necessary rules of a practical technique of remote research of a sea surface, allowing with the greatest by efficiency to find out superficial temperature anomalies, are constructed. The theoretical during researches theoretical and methodical decisions are applied for search of oil-gas areas at processing the remote thermal images northwest part of the Black sea, received with KA NOAA. Received preliminary results allow to identify on the remote images of anomaly with the characteristics, appropriate settlement, that testifies to an opportunity of searches oil-gas objects within the framework of formulated rules, on materials of thermal space-born sensing.

435787

AB 37.133
AB 37.133