

барьеров в пространстве, успех решения которых заключается в умелом применении такого механизма, как сиквенс-стратиграфия.

Понимание седиментационных процессов в резервуаре, качественное применение сиквенс-стратиграфического моделирования важно как на стадии поисков и разведки ловушек углеводородов, так и на завершающей стадии разработки при планировании геолого-технических мероприятий.

Настоящая работа представляет собой построение седиментационной модели для Тагайского месторождения, расположенного на южном склоне Моисеевского куполовидного поднятия, осложняющего южный борт Каймысовского свода Западной Сибири. В основу реконструкции палеогеографической обстановки были положены принципы фациального анализа и сиквенс-стратиграфического аппарата, необходимого инструмента, основанного на расчленении осадочного бассейна на хронологически одновременные пачки, разделенные несогласиями и коррелятивными им поверхностями. Сиквенс-стратиграфические поверхности несогласия обеспечивают надежный каркас для корреляции и картирования отложений, и представляют особый интерес, так как зачастую являются препятствиями на пути флюида. Пространственное положение различных литофаций было восстановлено из их непрерывной вертикальной последовательности. Выделение системных-трактов и их более мелких составляющих позволило восстановить палеокартину и увязать события данного стратиграфического разреза с глобальной кривой.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ЛИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Коптев Александр Игоревич

Геологический ф-т МГУ, Москва, koptev06@mail.ru

Цель настоящей работы – расчет модельного распределения напряжений в литосфере Земли при различных граничных условиях и параметрах среды и сопоставление полученных результатов с фактическими данными. Под граничными условиями понимаются тектонические силы. При этом они могут быть рассчитаны различными способами и задаваться в различных комбинациях, что и обеспечивает разнообразие граничных условий в моделях.

Достижение указанной цели предполагает решение следующих задач:

- 1) разработка программного обеспечения для расчета:
 - а) установившегося поля напряжений в заданной (упругой или неупругой в зависимости от постановки задачи) среде из начальных и граничных условий;
 - б) граничных условий модели, т.е. движущих сил тектоники плит;

2) сопоставление полученных результатов с результатами предыдущих исследований и наблюдаемыми данными.

Поле напряжений рассчитывалось путем количественного решения уравнения

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\partial s_{ij}}{\partial x_i} + F_i = 0 \quad (1)$$

методом конечных объемов с использованием явной консервативной численной схемы в Лагранжевых координатах. Расчетная сетка покрывает сферу с радиусом 6371 км и состоит из четырехугольных ячеек.

В ходе расчетов производился циклический пересчет скоростей смещений (u_i) в скорости деформаций (ϵ_{ij}), скоростей деформаций (ϵ_{ij}) в напряжения (s_{ij}), напряжений (s_{ij}) в силы (F_i), а сил (F_i) обратно в скорости смещений (u_i) (рис.1). Часть этих величин (скорости смещений (u_i), силы (F_i)) центрированы в узлах расчетной сетки, а часть (скорости деформаций (ϵ_{ij}), напряжения (s_{ij})) – в ячейках.

Данный цикл расчета производился до тех пор, пока не достигалось равновесное состояние, т.е. состояние, в котором все силы в узлах оказываются полностью уравновешенными. В качестве критерия такого состояния использовалось условие непревышения узловыми силами заданного порогового значения.

Метод допускает возможность «разрезания» сетки вдоль границ плит или вдоль линий разломов. «Разрезание» производится вдоль границ ячеек. Узлы, лежащие на «разрезанной» границе и принадлежащие ячейкам, лежащим по разные стороны разреза, могут смещаться независимо (при этом ячейки могут либо «перехлестываться», либо «разъезжаться»). Возможно наложить условие, чтобы узлы ячеек могли двигаться только вдоль линии разреза.

При расчете баланса узловых сил для узлов, лежащих на линии разреза, учитывается вклад только тех ячеек, которые лежат по одну из сторон от линии разреза.

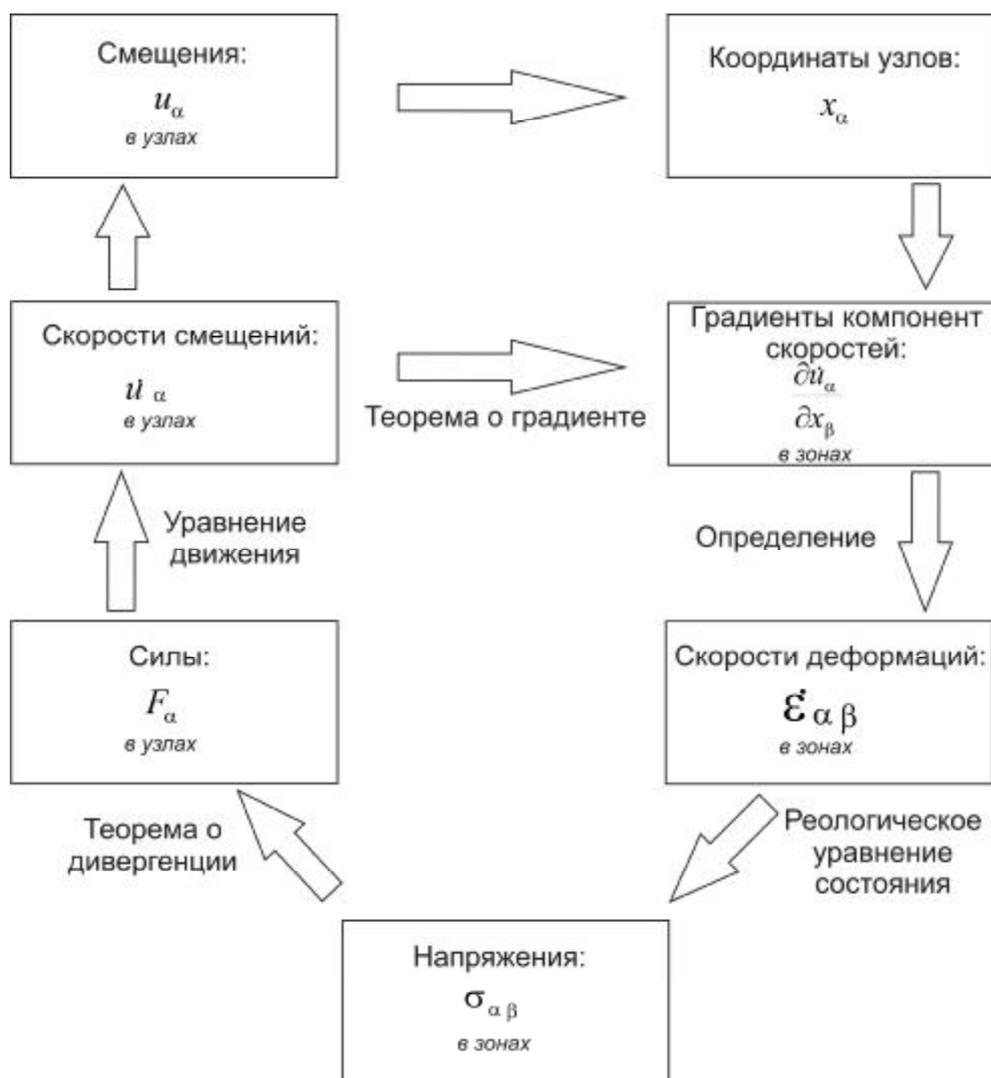


Рис.1. Общая схема расчета

При расчете чисто упругой задачи, несмотря на то, что, строго говоря, выполняется расчет эволюции системы во времени, нас интересует только ее конечное установившееся состояние. В то же время, при расчете вязко-упруго-пластичных моделей нас будет интересовать и сама временная эволюция системы.

Вязко-упруго-пластичные расчеты производятся следующим образом. Сперва выполняется расчет равновесного поля напряжений в рамках чисто упругой модели при заданной конфигурации тектонических и граничных сил. Затем «включается» пластичность и производится расчет поля напряжений в рамках упруго-пластической модели. Наконец, «включается» вязкость и «запускается» время: на каждом временном шаге производится расчет вязкой релаксации и перестройки напряжений.

В настоящей работе предполагается, что литосфера находится в состоянии локальной изостатической компенсации. Следовательно, веса любых двух

вертикальных колонок литосферы от поверхности до глубины изостатической компенсации должны быть равны:

$$\int_{z_0(x_1, y_1)}^{z_l} \rho(x_1, y_1, z_1) dz = \int_{z_0(x_2, y_2)}^{z_l} \rho(x_2, y_2, z_2) dz, \quad (2)$$

где $z_0(x, y)$ - абсолютная отметка рельефа в точке с координатами (x, y) , z_l - уровень изостатической компенсации, а плотность слагающих литосферу пород ρ при заданном минеральном составе зависит от температуры следующим образом:

$$\rho(T) = \rho(T_0) \cdot (1 - a\Delta T). \quad (3)$$

Распределение температур в литосфере считалось стационарным и рассчитывалось как

$$T(z) = T_0 + \int_0^{H_L} q(z) dz, \quad (4)$$

где T_0 - температура на поверхности Земли, H_L - мощность литосферы, $q(z)$ - тепловой поток.

Глубина подошвы литосферы рассчитывалась итеративно из условия изостатического равновесия в каждой ячейке расчетной сетки исходя из фактических данных по рельефу, мощности и плотности слоев в пределах земной коры, гравитационных аномалий в свободном воздухе. При используемом алгоритме расчета распределение температур определяется положением подошвы литосферы, которая, в свою очередь, сама зависит от распределения температур. Эта неоднозначность может быть устранена за счет выполнения серии итераций, каждая из которых включает расчет распределения температур исходя из положения подошвы литосферы, рассчитанной на предыдущей итерации, и собственно расчет новой уточненной глубины подошвы литосферы.

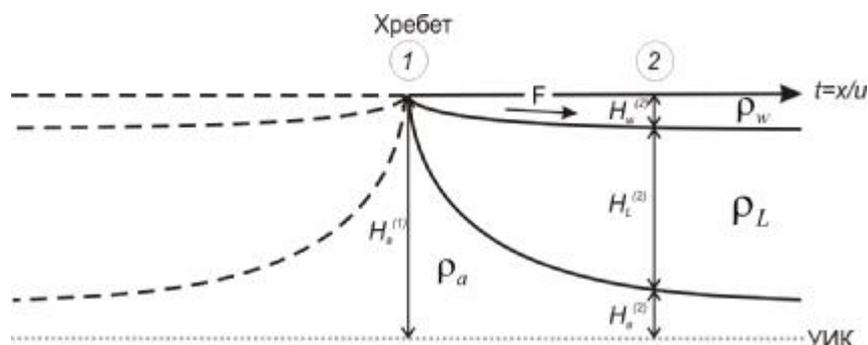


Рис.2. Сила отталкивания от хребта F , действующая от хребта (точка 1) к точке 2

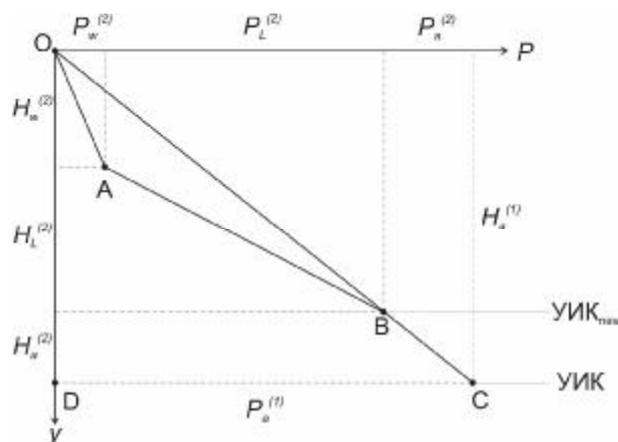


Рис.3. Графики P-y для точек 1 и 2 на рис.5. Разность площадей многоугольников OCD и OABCD – сила отталкивания от хребта.

В данной работе учитывались только обобщенные топографические силы (т.е. силы, возникающие вследствие наличия неоднородности мощностей и/или плотностей коровых и мантийного слоев литосферы). Их количественная оценка выполняется путем расчета разности гравитационной потенциальной энергии в соседних по латерали областях литосферы.

Обобщенная топографическая сила в текущем узле расчетной сетки определялась как сумма четырех векторов, амплитуда каждого из которых является разностью интегралов литостатического давления в соседних ячейках, а направление ортогонально границе ячеек. Принцип расчета проиллюстрирован на рис. 2 и рис. 3 для случая океанической литосферы.

В рамках данной работы рассчитано множество моделей распределения напряжений в литосфере Земли. Множественность моделей обусловлена возможностью рассчитывать граничные и начальные условия модели различными способами. Для каждой модели производилась количественная оценка соответствия расчетных данных наблюдаемым (данные Мировой Карты Напряжений (WSM)). На рис.4. приведены результаты наилучшей модели, т.е. модели, демонстрирующей наименьшее отклонение от фактических данных.

Наблюдается в целом хорошее соответствие расчетного поля фактическим данным, а также отражение в нем основных структур литосферы Земли (срединно-океанские хребты, зоны субдукции, внутриокеанские поднятия, континентальные рифтовые системы, орогены). Это позволяет сделать вывод о том, что действия только обобщенных топографических тектонических сил достаточно для того, чтобы объяснить главные особенности поля напряжений в литосфере Земли.

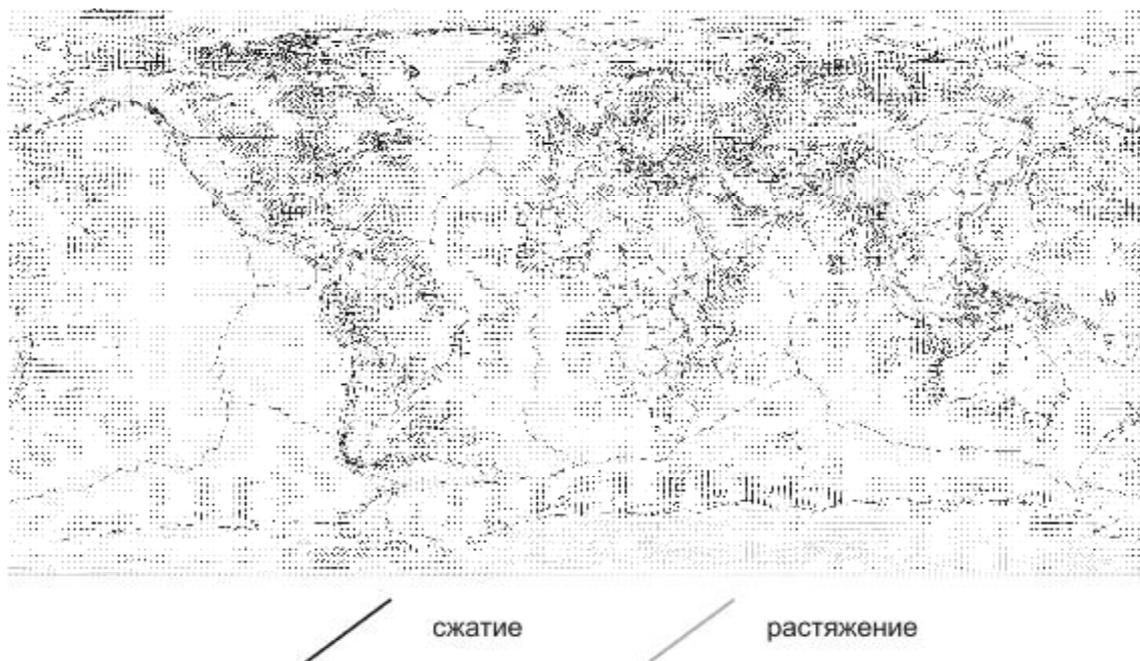


Рис.4. Распределение напряжений в представленной в данной работе модели

ИСТОРИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Королев Нестер Михайлович

Геологический ф-т СПбГУ, Санкт-Петербург, nl-5183@narod.ru

История геологического развития всего Крыма сложна и крайне неоднозначна. Только вариантов тектонического районирования Горного Крыма насчитывается свыше пятидесяти, что показывает, насколько насыщена геология данного района. С момента появления первых геологических сведений об этой территории и до сих пор множество вопросов остается дискуссионными, а мнения авторов зачастую противоречивы. Работы по исследованию этого уникального геологического объекта активно ведутся и сейчас, с каждым годом публикуется все больше геофизических данных, находят применение новые методы, но, несмотря на это, Крым остается еще недостаточно изученным.

В данной работе изложены основные этапы развития, сделаны обобщения и проведен анализ наиболее однозначно интерпретируемых моделей тектонического развития и условий осадконакопления в пределах юго-западной части Крымского полуострова, более детально рассмотрена история геологического развития территории в районе учебного полигона геологического факультета СПбГУ. Автором был изучен весь промежуток формирования Крымского полуострова от предположительных и достаточно