

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени К. И. САТПАЕВА**

**Т. Л. ТЕСЛЕНКО**

**ФОРМИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ПОЛЕЗНЫХ  
ИСКОПАЕМЫХ КАЗАХСТАНА**

**АЛМАТЫ 2007**

**УДК 551.24.01**  
**ББК 33.3**  
**Т 36**

**Рецензенты:** О. В. Подольный, доктор геол.- мин. наук, профессор, КазГИДЭК  
А.А. Машанов, доктор техн. наук, профессор, КазНТУ

**Тесленко Т.Л.**

Т 36

**Формирование земной коры и полезных ископаемых Казахстана. Монография.**  
**Алматы: ИП Сагаутдинова М.Ш., 2007. – 160 с.**

**ISBN 965-13-866-4**

Уточнены геодинамические условия формирования литосферы на конвергентных и дивергентных границах. Предложена модель и объяснены причины возникновения волнообразной конвекции в мантии и астеносфере на горизонтальном участке конвективных ячеек. Объясняются причины изменения направления движения литосферных плит, смещения структурных элементов земной коры, причины неравномерного распределения рудных компонентов в коре, слагающей континенты. Причины выделения рудных компонентов на границах плит обусловлены баро-термическими условиями, механизм их выделения одинаковый, а геодинамические причины – различны. На основании представлений о рециклинге пород составлена матрица, отражающая стадийность формирования полезных ископаемых. Предложена классификация месторождений на геодинамической основе. Разработаны легенды и с помощью ГИС составлены две геодинамические карты в масштабе 1: 1 500 000 для Северного, Центрального, Восточного и Южного Казахстана. Первая отражает условия, время и последовательность формирования композиционной коры, она служит основой для прогноза размещения рудных компонентов. Вторая отражает динамику каждого структурного элемента, т.е. механизм его перемещения: надвигание, сдвигание, поддвигание. Это позволяет определить поднадвиговые зоны. Обе карты являются основой для специальных видов районирования, применяемого в геологии. Предложена модель формирования композиционной коры территории Казахстана. На примере Зыряновского района Рудного Алтая объясняется методика геодинамического анализа для поисков месторождений полиметаллов, скрытых на глубине.

Материал, изложенный в книге, является дополненным и переработанным изданием монографии «Геодинамические условия формирования литосферы». Книга рекомендована для геологов, гидрогеологов, геофизиков, географов, а также преподавателям, аспирантам и студентам вузов и техникумов соответствующих специальностей.

К книге прилагается компакт-диск с геодинамическими картами Казахстана.

Ил. 48, табл. 17 Библиогр.: 225 назв.

ББК 33.3

2502000000  
Т 00 (05) -07

ISBN995-13-866-4

© Тесленко Т.Л., 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

|       |                                                                                                                       |     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|       | Предисловие.....                                                                                                      | 5   |
|       | Введение.....                                                                                                         | 7   |
| 1     | Теоретическое обоснование геодинамической модели формирования литосферы и выделения рудных компонентов ...            | 11  |
| 1.1   | Обоснование волнообразной модели мантийной конвекции.....                                                             | 11  |
| 1.2   | Условия формирования литосферной оболочки.....                                                                        | 17  |
| 1.3   | Причины различия в скоростях движения литосферных плит.....                                                           | 29  |
| 1.4   | Геодинамическая модель эволюции литосферных плит .....                                                                | 33  |
| 1.4.1 | Анализ современных представлений о формировании островодужных бассейнов.....                                          | 34  |
| 1.4.2 | Генезис положительных форм рельефа океанического дна, их роль в формировании композиционной коры.....                 | 44  |
| 1.4.3 | Формирование островодужных бассейнов.....                                                                             | 48  |
| 1.5   | Условия возникновения складчатости .....                                                                              | 57  |
| 1.6   | Значение местных стратиграфических подразделений .....                                                                | 58  |
| 1.7   | Время формирования композиционной коры.....                                                                           | 62  |
| 1.7.1 | Возраст пород и время формирования композиционной коры.....                                                           | 63  |
| 1.7.2 | Расчет времени формирования композиционной коры.....                                                                  | 67  |
| 1.8   | Геодинамические и тектонические условия формирования месторождений полезных ископаемых .....                          | 71  |
| 1.8.1 | Выделение рудных компонентов в начальную стадию раскола плиты.....                                                    | 74  |
| 1.8.2 | Формирование месторождений на стадии преобразования внутриплитного шельфа в активную окраину литосферной плиты        | 74  |
| 1.8.3 | Типизация месторождений.....                                                                                          | 77  |
| 2     | Геодинамические карты: разновидности, методика составления и назначение.....                                          | 79  |
| 2.1   | Легенды геодинамических карт.....                                                                                     | 80  |
| 2.2   | Геодинамическое районирование.....                                                                                    | 81  |
| 3     | Геодинамические условия формирования структурных элементов композиционной коры, слагающих территорию Казахстана ..... | 83  |
| 3.1   | Формирование геологических структур Казахстана по представлениям различных авторов.....                               | 83  |
| 3.1.1 | Традиционные представления о формировании геологических структур территории Казахстана.....                           | 83  |
| 3.1.2 | Геологическая эволюция Казахстана, рассматриваемая с позиций теории тектоники плит.....                               | 85  |
| 4     | Геодинамическая модель формирования композиционной коры территории Казахстана.....                                    | 93  |
| 4.1   | Формирование территории Рудного Алтая .....                                                                           | 101 |
| 4.2   | Формирование территории Лениногорско-Зыряновского района Рудного Алтая .....                                          | 111 |
| 5     | Организация поисково-разведочных и эксплуатационных работ                                                             |     |

|       |                                                                                                                                             |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|       | на основе геодинамического анализа .....                                                                                                    | 117 |
| 5.1   | Влияние геодинамики на развитие процессов .....                                                                                             | 117 |
| 5.2   | Организация работ с использованием геодинамического анализа .....                                                                           | 118 |
| 5.3   | Прогноз размещения рудных компонентов в земной коре на геодинамической основе .....                                                         | 118 |
| 5.3.1 | Геодинамические условия образования МПИ на примере Рудного Алтая.....                                                                       | 120 |
| 5.3.2 | Рекомендации для выделения площади на проведение поисковых работ в Соловьевском блоке Рудного Алтая.....                                    | 123 |
| 5.4   | Районирование территории Казахстана по режиму быстроизменяющихся факторов формирования и активности опасных геодинамических процессов ..... | 124 |
| 5.4.1 | Прогноз развития техногенных процессов на основе геодинамического анализа при разработке месторождений полезных ископаемых .....            | 125 |
| 5.5   | Организация инженерно-геологического мониторинга .....                                                                                      | 137 |
| 5.5.1 | Рекомендации по организации геомониторинга.....                                                                                             | 137 |
| 5.5.2 | Методика сбора информации, пригодной для инженерно-геологической интерпретации.....                                                         | 139 |
|       | Заключение.....                                                                                                                             | 143 |
|       | Список использованных источников .....                                                                                                      | 146 |



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Со времени публикации книги «Геодинамические условия формирования литосферы», прошел 1 год. За это время были доработаны отдельные главы, уточнены некоторые особенности формирования коры и полезных ископаемых. На геодинамической основе разработана классификация месторождений полезных ископаемых. Теория и методика геодинамического анализа применены для разработки легенд и составления геодинамических карт. С помощью ГИС-технологий составлены две геодинамические карты: смещения структурных элементов земной коры для территории Казахстана в масштабе 1:1 500 000; прогноза размещения рудных компонентов на территории Казахстана в масштабе 1:1 500 000. Они прилагаются к книге на компакт-диске. Эти карты являются основой для специализированного районирования изучаемой территории и решения задач: по сейсмическому прогнозу, инженерной геологии, гидрогеологии, минерагении, организации геомониторинга и др. Кроме прилагаемых карт в компакт-диск включены образцы выборок по заданным свойствам, которые могут быть отображены с помощью таблиц и соответствующих графических объектов. Это наглядно доказывает преимущества применения современных компьютерных программ по сравнению с обработкой обширных геологических материалов традиционным способом – на бумажных носителях. В работе доказывается, что применение геодинамического анализа при переинтерпретации геологических материалов позволяет сделать прогноз развития опасных геологических и техногенных процессов. Использование геодинамического анализа позволило разработать модель организации геомониторинга. Такой подход дает возможность управлять процессом техногенного воздействия на окружающую среду.

Книга состоит из предисловия, введения, пяти глав и заключения.

Первая глава имеет концептуальный характер. Для уточнения механизма формирования земной коры проведен анализ гипотез, объясняющих проявление геодинамических процессов. Здесь объясняются условия формирования и существования астеносферы, предложена модель развития конвекции в астеносфере и мантии. Поясняются причины появления океанических валов и зон субдукции. Приведен механизм формирования зон спрединга. Проводится критический анализ гипотез, объясняющих формирование задуговых бассейнов и островных дуг. Поднимается вопрос о возрасте пород и времени формирования коры, слагающей континенты, объясняются причины возникновения складчатых областей и проявления различных фаз магматизма, причины проявления межслоевых интрузий. Выработаны критерии, по которым можно провести переинтерпретацию геологических материалов для доказательства действенности теории тектоники плит. Кроме того, объясняются причины проявления «косой субдукции» и другие вопросы. Рассмотрены геодинамические условия и стадии формирования полезных ископаемых. Разработана типизация месторождений на геодинамической основе.

Во второй главе приведены макеты легенд двух геодинамических карт и изложен принцип геодинамического районирования. Геодинамические карты могут быть использованы не только для прогноза месторождений полезных ископаемых, но и для сейсмоструктурного и инженерно-геологического районирования.

В третьей главе рассмотрено формирование коры, слагающей территорию Казахстана, по представлениям авторов, придерживающихся различных теоретических концепций.

В четвертой главе, на основании геодинамического анализа геологических формаций, приведенного в книге «Геодинамические условия формирования литосферы», предложена модель образования композиционной коры, слагающей территорию Казахстана.

В пятой главе предложена схема организации поисково-разведочных и эксплуатационных работ на основе геодинамического анализа. Даны рекомендации на поисково-разведочные работы в Соловьевском блоке Рудного Алтая. Внедрены в производство рекомендации по консервации Зыряновского рудника, по разработке Соколовского месторождения, разработана методика сбора и обработки геологической информации для инженерно-геологического анализа.

Автор благодарна академику Инженерной академии РК, д.г.-м.н., профессору Г. Ж. Жолтаеву, академику НАН РК С.М. Мухамеджанову, профессору, д.г.-м.н., Почетному члену РАЕН, члену международной академии минеральных ресурсов А. А. Ковалеву, главному научному сотруднику ИГН МОН РК, д.г.-м.н. Ю.С. Парилкову, в.н.с. ИГН МОН РК А.Б. Диарову за ценные советы и предоставленную современную литературу; д.г.-м.н. О. В. Подольному, снс, к.г.м.-н. В. П. Олексенко, д.т.н., проф. Машанову, заместителю директора ГРК «Казцинк-ГЕО» А.С. Кузнецову, Е.А. Добровольской, А.Х. Хайдарову за ценные советы, критические замечания и пожелания, высказанные при прочтении рукописи; моей семье – за великое терпение, помощь и поддержку.

## ВВЕДЕНИЕ

Становление и развитие теории тектоники плит связано с именами выдающихся исследователей: О. Фишера (1889), А. Вегенера (1912), А. Холмса и А. Д. Тойта (1949); Dietz R. S., Hess Н.Н., Vine F.J., Matthews D.H., Wilson J.T., Bullard E. C., Morgan W.J. (1949-1968), О.Г. Сорохтина, Л.И. Лобковского, В.Е. Хаина, А.А. Ковалева, и др. [1–71].

В таблице 1.1 в хронологической последовательности отражены эволюция взглядов основоположников тектоники плит, а также особенности практического применения новой теории для поисков и прогноза месторождений полезных ископаемых.

Таблица 1.1 – Хронология основных достижений в развитии и применении теории тектоники плит

| Дата<br>1 | Автор<br>2              | Заслуга<br>3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1889      | О.Фишер [1]             | Определена мощность континентальной коры – около 40 км. Создана первая геодинамическая модель развития Земли: образование океанической коры в зонах растяжения; затягивание океанической коры под окраины континентов и островов (связь с землетрясениями); движущий механизм, перемещающий блоки земной коры, – конвективные течения магмы в подкоровом слое |
| 1912      | А. Вегенер [2]          | Сходство геологического строения, фауны и флоры материков гондванской группы; доказательство различного состава коры океанов и континентов; палеореконструкции Гондваны и Пангеи на основании данных о позднепалеозойском оледенении                                                                                                                          |
| 1949      | А. Холмс [3]            | Механизм движения континентов объяснен существованием конвекционных потоков в недрах Земли. Разогрев недр происходит благодаря распаду радиоактивных элементов. Движение литосферы представляется в виде транспортной ленты                                                                                                                                   |
| 1958      | П.Н.Кропоткин [4, 5]    | Использование палеомагнитных и геологических данных для доказательства дрейфа континентов в прошлые геологические эпохи                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1962      | Г. Хесс [6]             | Повторно высказана идея О.Фишера об образовании океанической коры в срединно-океанических хребтах, возрасте и расширении океанического дна, погружении океанической коры в зонах глубоководных желобов                                                                                                                                                        |
| 1963      | Дж. Уилсон [7]          | Выделение трансформных разломов и перемещение по ним блоков земной коры относительно друг друга с различной скоростью                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1963      | Ф. Вайн и Д. Мэтьюз [8] | Полосчатые магнитные аномалии на океаническом дне – «запись» инверсий магнитного поля Земли в базальтах расширяющегося океанического дна                                                                                                                                                                                                                      |

Продолжение таблицы 1.1

| 1          | 2                                     | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1965       | Дж. Уилсон [9,10]                     | Литосферная оболочка Земли состоит из плит. Границы плит: рифтовые зоны, зоны поддвига плит, трансформные разломы. Трансформные разломы возникают при развитии в ней сдвиговых напряжений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1965       | Е. Буллард [11]                       | Использование теоремы Эйлера для реконструкции положения дрейфующих континентов в предыдущие геологические эпохи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1968       | Хейрцлер и др. [12]                   | Теоретически рассчитан возраст океанического дна; возраст океанического дна увеличивается с удалением от срединно-океанических хребтов, возраст самой древней коры – позднемезозойский                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1968       | В.Морган [13] и Кс. Ле Пишон [14]     | Рассчитаны параметры движения крупных литосферных плит                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1968       | Б. Айзекс, Дж. Оливер и Л. Сайкс [15] | Доказано: сейсмичность Земли определяется движениями литосферных плит по ее поверхности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1968       | С.А. Ушаков [16]                      | Нарушения изостазии в районах островных дуг объяснены динамическим эффектом поддвига океанических плит под островные дуги                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1969, 1973 | А. Митчелл и Г. Ридинг [17-20]        | Четыре типа геосинклиналей: атлантический, андийский, островной дуги и Японского моря. Показаны особенности осадконакопления в них. Высказана идея о трех типах орогенеза (андском, островной дуги и гималайском). Островодужные структуры формируются в результате прерывистого поглощения литосферы в районах глубоководных желобов; модель островной дуги; стадии эволюции островных дуг; определены характерные для островных дуг комплексы вулканических, вулканоплутонических и метаморфических пород |
| 1969       | А.В. Пейве [21]                       | Развита идея Г. Хесса о том, что офиолитовые покровы представляют собой фрагменты древней океанической коры, надвинутой на континентальные окраины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1970       | Дж. Дьюи и Дж. Берд [22]              | Рассмотрено образование горных поясов Земли с позиций тектоники литосферных плит                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1972-2006  | А.А. Ковалев [23-35]                  | Классификация и металлогенический анализ основных структурных элементов земной коры по условиям ее образования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1972       | А. Миясиро, С. Уеда [36, 37]          | Изучены условия образования и проявления регионального метаморфизма пород и осадков в зонах поддвига плит; изучен механизм погружения океанической литосферной плиты в мантию в зонах субдукции                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1973       | Дмитриев А.В. [38]                    | Геохимия и петрология коренных пород срединных океанических хребтов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1974       | Дж. Дьюи и Дж. Берд [39-41]           | Орогенические пояса являются результатом тангенциальных движений литосферных плит, доорогеническое накопление осадков происходило в океанах и на окраинах континентов; рассмотрены фазы эволюции океанов, континентальных окраин и орогенов. Выделены стадии развития, даны модели эволюции окраин континентов атлантического типа, горных поясов кордильерского типа и возникающих при столкновении островной дуги и                                                                                       |

Продолжение таблицы 1.1

| 1                | 2                                                                       | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  |                                                                         | континента (новогвинейский тип) и двух континентов (гималайский тип)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1974             | О.Г. Сорохтин [42]                                                      | Разработан механизм образования океанических литосферных плит, происхождения срединно-океанических хребтов и возможные механизмы образования региональных надвигов                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 1974             | У. Диккинсон [43]                                                       | Выполнен анализ обстановки схождения литосферных плит; выделены четыре возможных типа их столкновения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1974-1983        | О.Г.Сорохтин, С.А.Ушаков, А.С.Монин, Ю.О. Сорохтин, Сеидов Д.Г. [46-52] | Определены природа конвекции и основные источники ее энергии, исследован механизм химико-плотностной дифференциации земного вещества в гравитационном поле Земли; химико-плотностная, гравитационная конвекции является причиной дрейфа литосферных плит. Определены скорость образования ядра, конвективного массообмена в мантии, средний уровень тектонической активности Земли; выяснены основные закономерности эволюции Земли |
| 1976             | О.Г. Сорохтин, Л.И. Лобковский [53]                                     | Предложены и обоснованы современные модели строения океанической литосферы, теоретически обоснован механизм поддвига литосферных плит и предсказано явление затягивания осадков в зоны поддвига плит                                                                                                                                                                                                                                |
| 1978             | А.М. Городницкий, Л.П. Зоненшайн, Е.Г. Мирлин [54]                      | Выполнены палеогеодинамические реконструкции, прослежена эволюция океанов в течение всего кайнозоя и позднего мезозоя                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1979             | С.А. Ушаков, Ю.И. Галушкин [55]                                         | Факт затягивания океанических осадков под островные дуги подтвержден сейсмическими данными                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1980             | А.П. Лисицын, Ю.А. Богданов, Е.Г. Гурвич [56]                           | Использованы изменения условий осадконакопления для определения направлений и скоростей смещения океанских плит                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1989, 1990, 1993 | А.П. Лисицын, Ю.А. Богданов, Л.П.Зоненшайн [57]                         | Изучение гидротермальных образований рифтовых зон океана                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1988             | Л.И. Лобковский [58-60]                                                 | Комплексные геодинамические модели процессов спрединга и субдукции; выдвинута и обоснована концепция двухъярусной тектоники плит                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1989             | А.В. Авдеев, А.А. Ковалев, [61]                                         | Проанализирована геологическая позиция офиолитовых зон Северного, Срединного и Южного Тянь-Шаня, предложены схема тектонического районирования и модель эволюции литосферы Киргизии                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1993-1999        | Шенгер и др.[62-64]                                                     | Предложена фундаментальная концепция тектонической эволюции литосферы для Казахстана и сопредельных территорий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Продолжение таблицы 1.1

| 1         | 2                                                                            | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1995      | Г.С. Гусев, В.В. Зайков, Е.В. Зайкова, А.А. Ковалев, Е.И.Леоненко и др. [65] | Охарактеризованы типовые месторождения полезных ископаемых эталонных современных и палеогеодинамических обстановок. Предложены новые модели формирования вольфрамовых месторождений. Выполнена типизация месторождений на геодинамической основе и условия их формирования. Разработаны методы прогноза месторождений полезных ископаемых с позиций теории тектоники литосферных плит |
| 1996-2003 | Г.Ж. Жолтаев [66-68]                                                         | Разработаны геодинамические модели эволюции и строения юга Евразийской плиты для конца палеозоя. Разработана модель геодинамической эволюции Большого Каспия, что позволило понять условия нефтегазообразования и закономерности размещения углеводородов                                                                                                                             |
| 2001      | В.Е. Хаин [69]                                                               | Определены основные черты строения и тектонического развития главных структурных элементов земной коры – континентов и океанов                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2002      | Коллектив авторов [70]                                                       | Составлен атлас литолого-палеогеографических палинспастических и геоэкологических карт Центральной Евразии                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2004      | Перчук А.Л. [71]                                                             | Изучение условий образования и эксгумации метаморфических горных пород из зоны субдукции                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Высказанная О. Фишером (1889) [1] и А. Вегенером (1912) [2] идея о мобильности континентов, не дала ответ на вопрос о причинах, вызвавших их движение. Для объяснения вновь обнаруживаемых фактов, выдвигались новые гипотезы. Так развились новые научные направления, изучавшие геодинамику мантии, причины проявления мантийной конвекции, палеомагнетизм, сейсмичность зон субдукции и спрединга, причины образования и движения литосферных плит, условия рудообразования зон спрединга и субдукции. Постепенно начала формироваться новая теория. Но поскольку, не на все вопросы сразу находились ответы, возникали новые гипотезы. Объяснив одно явление, они не могли разъяснить другое. Причина заключалась в том, что исследователи истолковывали наблюдаемые процессы и явления, используя теоретическую базу, выработанную геосинклинальной теорией. Они не отрицали формирование прогибов, и соответственно, возникновение геосинклиналей. Неоспоримым фактом являлось наличие локальных магматических очагов в мантии. И вместе с тем, мантия по-прежнему представлялась огненно-жидким расплавом. Одним из важнейших моментов, перешедших из геосинклинальной теории, является понятие о складчатости. И, только в конце 80-х г. XX столетия Л.И. Лобковским [58-60] была предложена концепция двухъярусной тектоники плит, дополнившая теорию тектоники литосферных плит и объяснившая многие явления законами механики. Она позволила понять, что глобальные горизонтальные движения литосферных плит происходят под влиянием мантийных конвективных потоков – это нижний литосферный ярус системы, а на проявление региональных тектонических процессов оказывает влияние верхний ярус – корово-плитный.

# **1 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТОСФЕРЫ И ВЫДЕЛЕНИЯ РУДНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

## **1.1 Обоснование волнообразной модели мантийной конвекции**

Результаты проводимого лабораторного физического и численного моделирования показывают возможность существования нескольких моделей мантийной конвекции: однослойной, двухслойной и многослойной. Физическое моделирование осуществляется при помощи жидкостей, имеющих различную плотность.

На рисунке 1.1 изображена схематическая модель конвективных течений в мантии Земли [72]. На рисунке 1.2 изображены линии тока в двухслойной системе жидкостей гексадекан-глицерин [73]. Л.П. Зоненшайном и М.И. Кузьминым [74] по геохимическим данным обосновано выделение горячих полей, показана их независимость от границ литосферных плит (Рисунок 1.3). По мнению этих исследователей «Следует различать глубинные нижнемантийные процессы, или тектонику горячих полей, и процессы на верхнем уровне, или тектонику плит... Система конвективных течений в верхней мантии в соответствии с развиваемой концепцией должна отличаться от нижнемантийной конвекции» [74], поэтому направление движения конвективных течений на горизонтальных отрезках верхнего и нижнего мантийных слоев – встречные. Линии тока горизонтальных отрезков прямолинейные. Для некоторых моделей предполагается то что, конвекция в разных слоях мантии не взаимосвязана.

Необходимо отметить, что при моделировании невозможно учесть все условия, характерные для природной среды, поэтому эти модели не точны. Например, численные эксперименты по изучению структуры мантийной конвекции с движущимися континентами, показали, что наклон субдукции возникает благодаря надвигу континентов [75, 76].

Существование в мантии интенсивной и крупномасштабной конвекции рассматривается в теоретических разработках [42; 47, 49; 77-82], где определена природа конвекции и основные источники ее энергии. По этой концепции плотностные неоднородности, генерируемые в переходном слое между ядром и мантией вследствие механизма «физической диффузии» окиси железа [83], вызывают крупноячеистую мантийную конвекцию, которая, непрерывно перемешивая силикатную оболочку Земли, поддерживает в ней в среднем одинаковый состав. Перестройки конвективных структур в этой схеме связываются со сменой крупнейших тектономагматических эпох Земли.

Результаты исследований, приводимые в работах О.Г. Сорохтина [45, 47], доказывают, что источником возникновения крупномасштабной мантийной конвекции является энергия гравитационной дифференциации мантийного вещества. Локальный разогрев мантии происходит в местах выделения окиси железа из мантии во внешнее ядро (рисунок 1.4) [42, 46, 47].

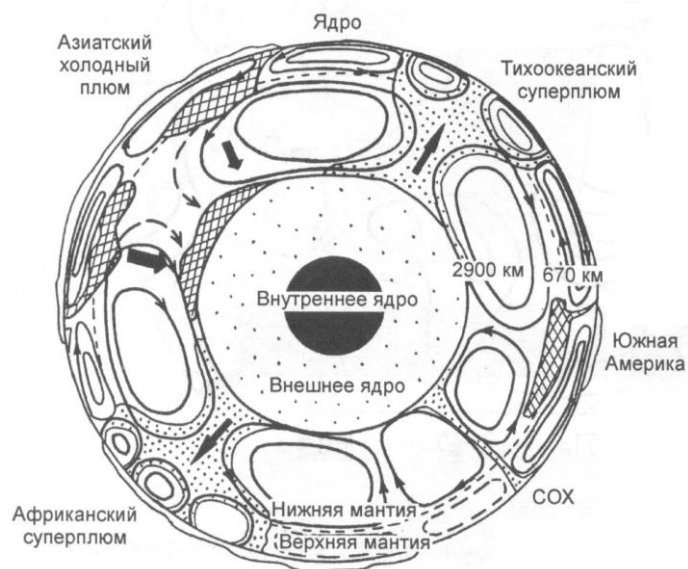


Рисунок 1.1 – Модель современной Земли и схема конвективных течений в мантии по Maruyama [72]

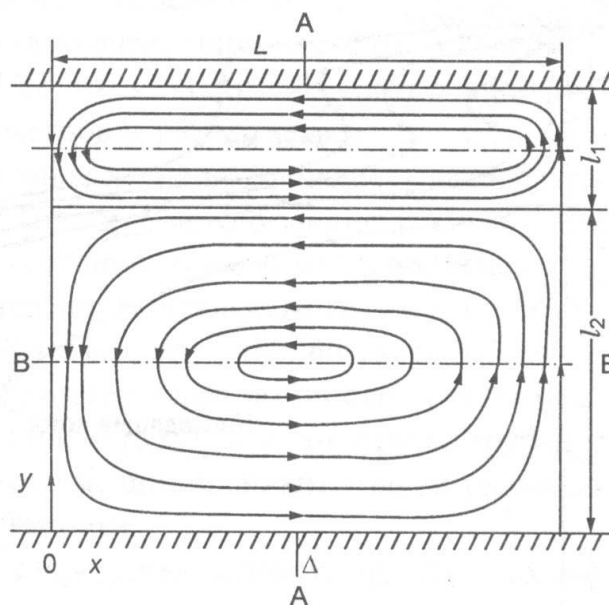


Рисунок 1.2 – Линии тока в двухслойной системе жидкостей гексадекан – глицерин, определенные из телефильма. В сечении А-А и В-В определены профили скорости [73]



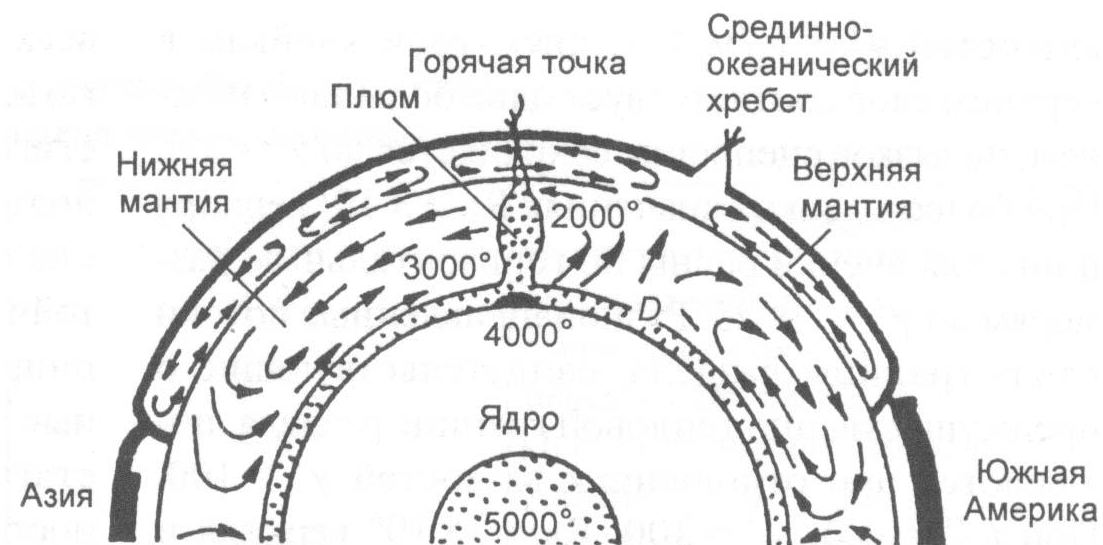


Рисунок 1.3 – Разрез земного шара по экватору через Тихий океан. Показан слой D и быстро поднимающийся от него плюм, который пересекает конвективные потоки мантии [74]

Обычно рассматривают однослойную и многослойную модели мантийной конвекции, объясняя это изменением плотности мантийного вещества с глубиной, и изображая конвективные ячейки замкнутыми, а движение мантии на разных уровнях – встречным. На рисунке 1.5 изображены профили температуры  $T$  и скорости  $u$  в астеносфере под континентом и океаном, а также указаны векторы сил, действующих со стороны астеносферных потоков на океаническую ( $F_0$ ) и континентальную литосферу ( $F_r$ ) [84].

Изучение процесса конвекции осуществляется при помощи физического и числового моделирования. При физическом моделировании используются вещества жидкой консистенции, различающиеся по плотности. При задании граничных условий модели не учитывается расположение источников тепла, имеющих неравномерный разогрев, охлаждение, мощность литосферы, давление и др. особенности. Поэтому кроме ошибки, связанной с масштабным эффектом, возникает неточность в результате эксперимента и при моделировании получается, то что горизонтальные составляющие конвективных ячеек распространяются прямолинейно. Но поскольку мантия и астеносфера это не жидкость, а сухое вещество, с неравномерными условиями прогрева и охлаждения, горизонтальные ветви конвективных ячеек приобретают другую форму [84]. Рассмотрим механизм и условия возникновения конвекции в следующих моделях, изображенных на рисунках 1.6-1.9, рассмотрены механизм и условия мантийной конвекции.

На рисунке 1.6 изображена модель 1, на которой разогрев вещества снизу осуществляется постоянным источником, расположенным внутри сферы. Снаружи сфера не охлаждается. Такие условия исключают возможность развития конвекции.

Модель 2, изображенная на рисунке 1.7, иллюстрирует влияние локального источника выделения тепла, оказывающего неравномерный прогрев вышележащих зон. Сфера не охлаждается. Слабая конвекция возможна непродолжительное время только в районе источника тепла.

На рисунке 1.8 дана модель развития конвекции при условии охлаждения сферы сверху и разогрева снизу постоянным источником тепла, расположенным внутри сферы. Разогрев вещества снизу осуществляется постоянным источником, расположенным внутри сферы. Такие условия способствуют развитию волнообразной конвекции только в верхней части сферы, где будет происходить попеременное прогревание от нижележащих зон и охлаждение сверху.

Четвертая модель развития процесса конвекции, изображенная на рисунке 1.9, объясняется следующим образом: источник тепла имеет сложное строение: одна часть прогревает вышележащие слои сильнее, чем другая. Снаружи сфера охлаждается. Нагревание вещества происходит снизу вверх и в стороны от восходящего потока, а охлаждение сверху вниз и по мере удаления от зоны восходящего конвективного потока.

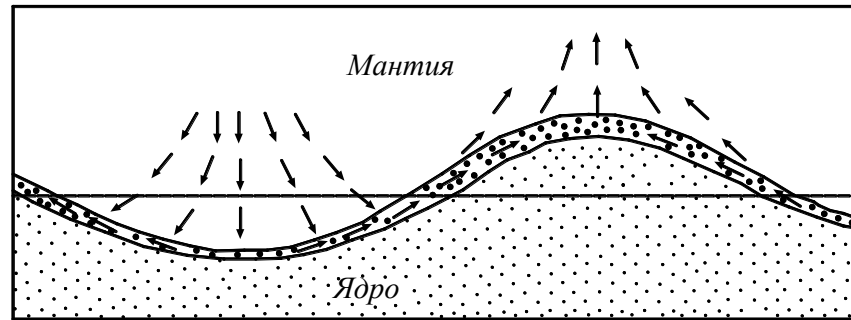


Рисунок 1.4 – Схема конвективных течений вблизи границы мантия-ядро и формирование восходящих потоков в мантии [42]

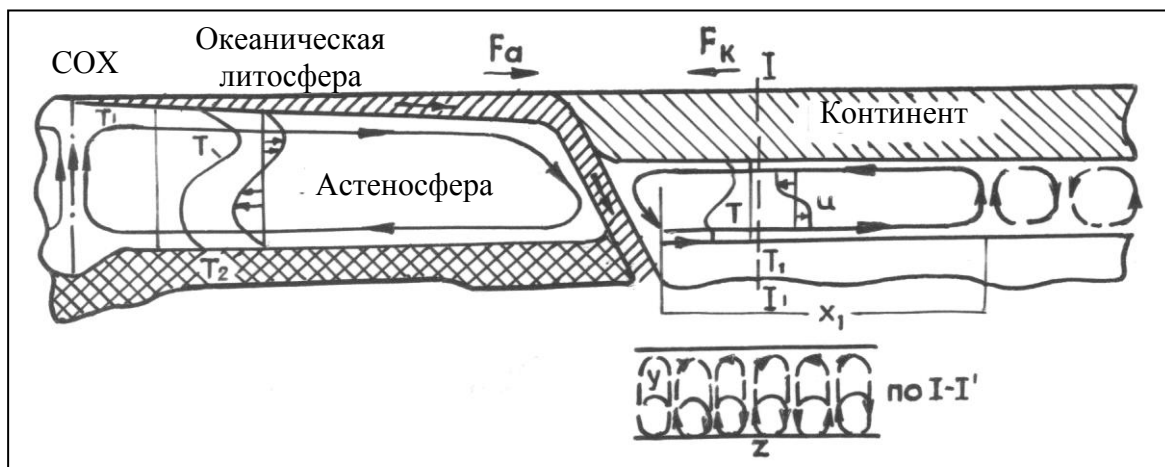
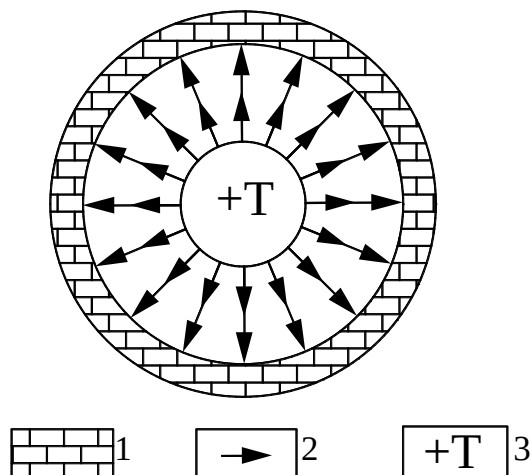
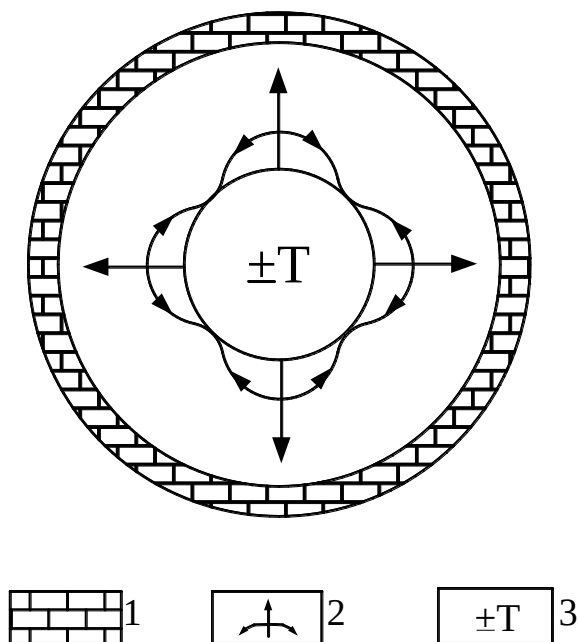


Рисунок 1.5 – Схема астеносферных течений [84]



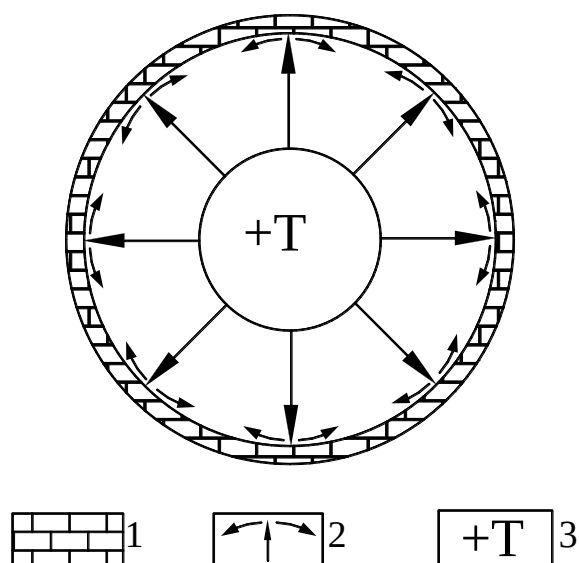
1 – литосфера; 2 – направление движения тепловых потоков; 3 – постоянный источник выделения тепла

Рисунок 1.6 – Модель разогрева мантии без охлаждения сверху



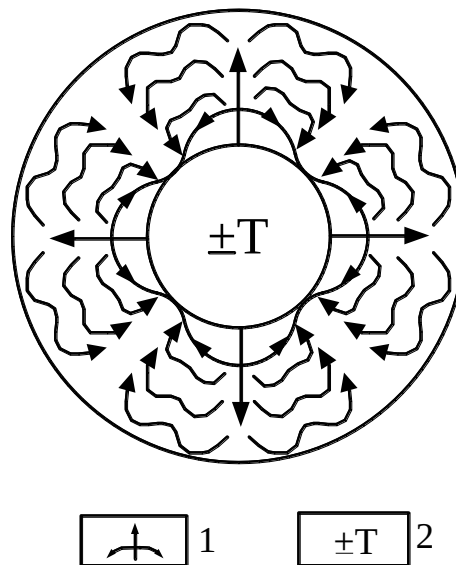
1 – литосфера; 2 – направление движения конвективных потоков; 3 – источник выделения переменного тепла.

Рисунок 1.7 – Модель разогрева мантии переменным источником тепла без охлаждения сверху



1 – литосфера; 2 – направление движения конвективных потоков; 3 – источник выделения переменного тепла.

Рисунок 1.8– Модель охлаждения сферы сверху и разогрева снизу постоянным источником, расположенным внутри сферы



1 – направление движения конвективных потоков; 2 – источник выделения переменного тепла

Рисунок 1.9 – Модель развития волнообразной конвекции.

Такие условия способствуют развитию волнообразной конвекции на горизонтальных отрезках конвективных ячеек. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока нижележащее вещество мантии сможет прогревать вышележащие области мантии. Когда нижележащие слои остынут до температуры вышележащих, сформируется зона нисходящего конвективного потока.

Описываемая модель объясняет причины заложения зоны субдукции, неравномерную мощность литосферы, наличие на дне океана зон повышенного температурного фона, возвышение СХ над дном океана, неравномерную мощность литосферы, локальные участки повышения температуры, формирование плагиигранитов и другие явления [85].

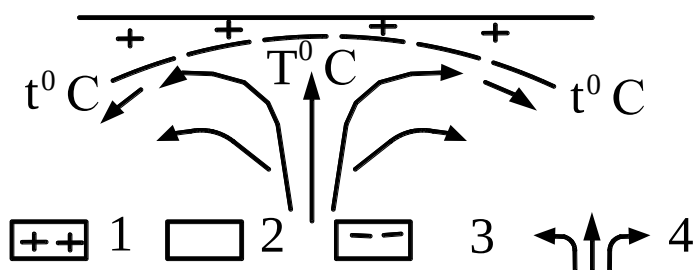
## 1.2 Условия формирования литосферной оболочки

Литосферная оболочка неоднородна по строению и составу. Латеральная и вертикальная неоднородность в верхней части плит заключается в различии литолого-петрографического состава литосферной оболочки, слагающей дно океана и континентальные выступы, и зависит от геодинамических условий образования литосферы на границах.

Нижняя граница литосферных плит зависит от изменения физико-химического состояния мантии, поэтому положение подошвы литосферы определяется условиями перехода мантийного вещества из жесткого в эффективно-пластичное состояние. Это означает, что переход от литосферы к мантии не резкий, как принято изображать на схемах внутреннего строения Земли, а постепенный. Поэтому мощность литосферы зависит от изменения

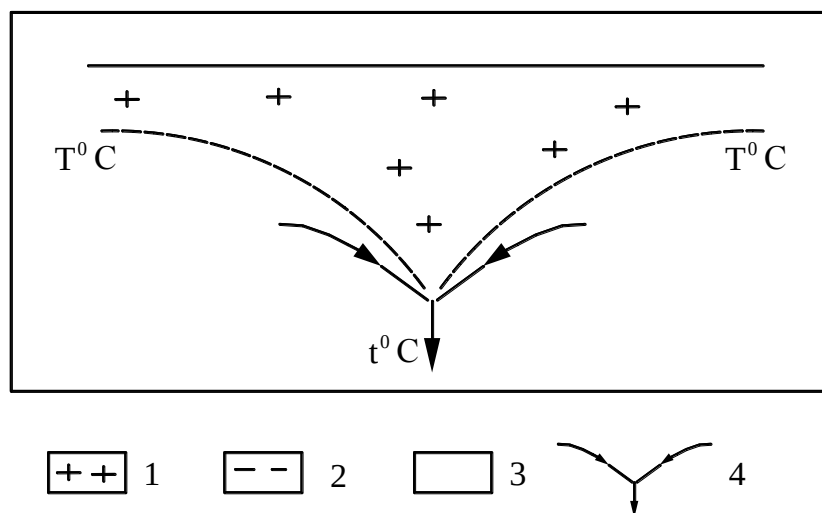
температуры конвективного потока относительно литосферной оболочки (рисунки 1.10-1.12). Охлаждение мантийного вещества происходит либо на контакте с атмосферой, (рисунок 1.13), либо на контакте с гидросферой (рисунок 1.14), т.е. в спрединговом хребте под поверхностью океана, либо под плитой, несущей на себе континентальный выступ (рисунок 1.15).

Глобальная мантийная конвекция способствует перемещению мантийного вещества, покрытого коркой (литосферой). Подвижность мантии приводит к расколу литосферной оболочки на «плиты», разделенные подвижными границами, соответствующими зонам спрединга, субдукции и скольжения. Глубина распространения границ соответствует толщине литосферы. Поскольку нижней границы литосферные «плиты» не имеют, поэтому термин «плита» принимается нами условно. На рисунках 1.16-1.19 изображен механизм возникновения зоны раздвижения и формирования коры на дивергентной границе. Раскол плиты может произойти в любом месте, но обязательно там, где восходящий конвективный поток, поднимается к поверхности земли от границы ядро-мантия. Разогрев плиты происходит снизу. По мере удаления конвективного потока от зоны разогрева, температура мантии понижается. Охлаждаясь на границе с экзосферой, конвектирующее вещество мантии «растекается» и разрывает нижнюю часть плиты (рисунок 1.16, 1.17).



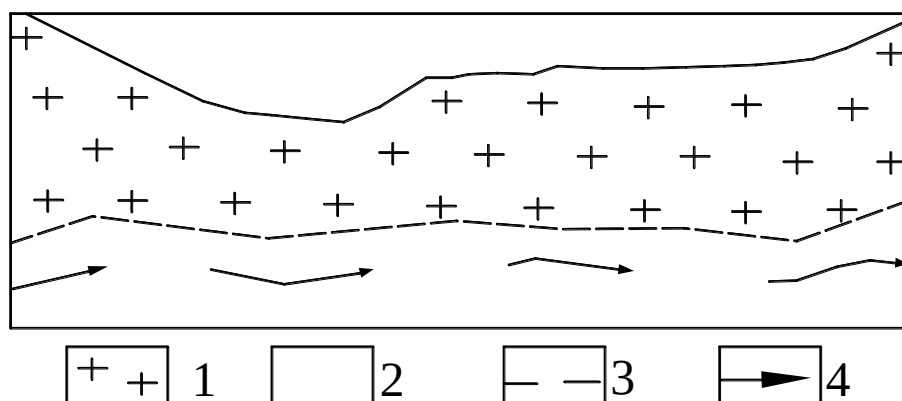
1– литосфера; 2 – мантийное вещество; 3 – граница литосферы; 4 – восходящий конвективный поток мантии;  $T^0 C$  – повышенное значение температуры в зоне восходящего конвективного потока;  $t^0 C$  – пониженное значение температуры, возникающее по мере охлаждения конвектирующего вещества

Рисунок 1.10– Уменьшение мощности литосферы обусловленное повышением температуры мантии в зоне восходящего конвективного потока. По мере удаления от зоны разогрева, происходит увеличение мощности литосферы



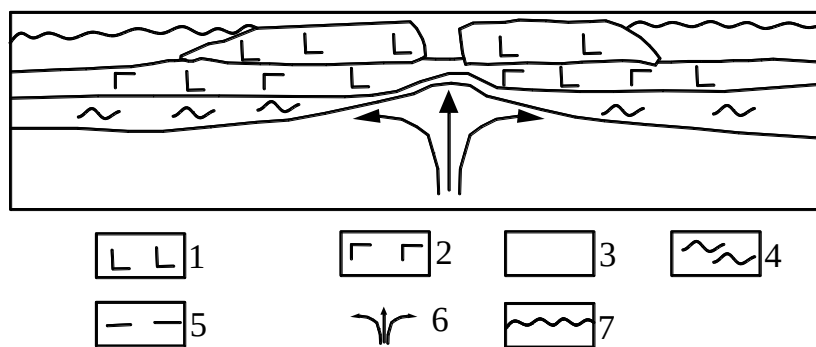
1– литосфера; 2 – граница литосферы; 3 – мантийное вещество; 4 – нисходящий конвективный поток;  $T^0 C$  – повышенное значение температуры конвектирующего вещества мантии;  $t^0 C$  – пониженное значение температуры, возникающее по мере охлаждения конвектирующего вещества мантии

Рисунок 1.11 – Увеличение мощности литосферы обусловлено понижением температуры в зоне нисходящего конвективного потока



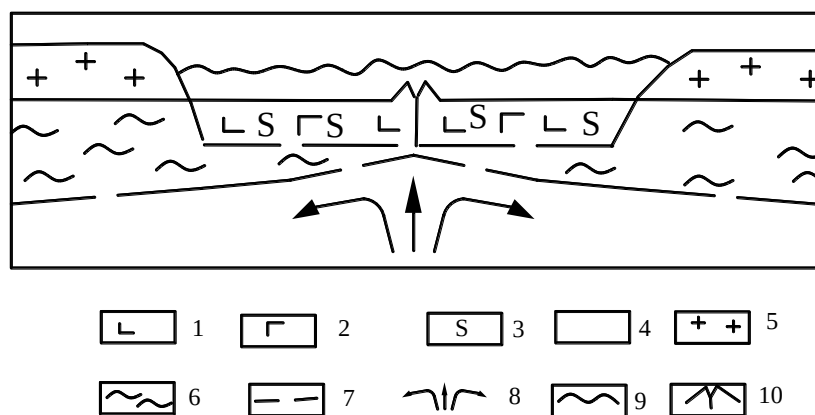
1 – литосфера; 2 – мантия; 3 – граница литосферы; 4 – направление движения конвективного потока

Рисунок 1.12 – Локальное изменение мощности литосферы за счет гипсометрии континента на участке движения постепенно охлаждающегося конвективного потока от зоны разогрева



1 – базальты; 2 – габбро; 3 – ультраосновные породы мантии; 4 – серпентинизированные породы мантии; 5 – граница литосферы; 6 – восходящий конвективный поток; 7 – уровень воды в океане

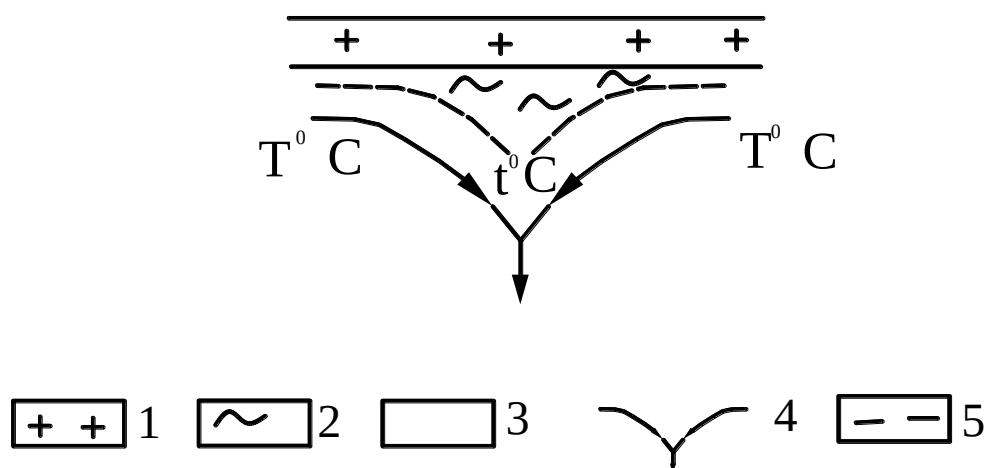
Рисунок 1.13 – Схема охлаждения мантийного вещества на контакте с атмосферой



1 – базальты; 2 – габбро; 3 – серпентиниты; 4 – ультраосновные породы мантии; 5 – кора континентальных выступов; 6 – нижняя часть литосферы; 7 – граница литосферы; 8 – восходящий конвективный поток; 9 – уровень воды в океане; 10 – CX в океане

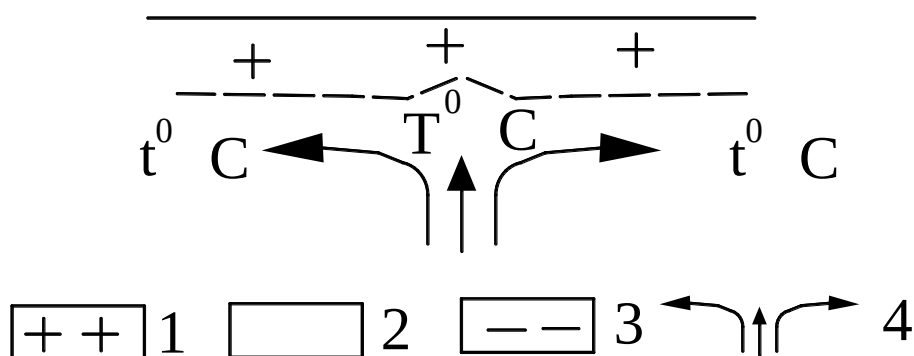
Рисунок 1.14 – Схема охлаждения мантийного вещества на контакте с гидросферой





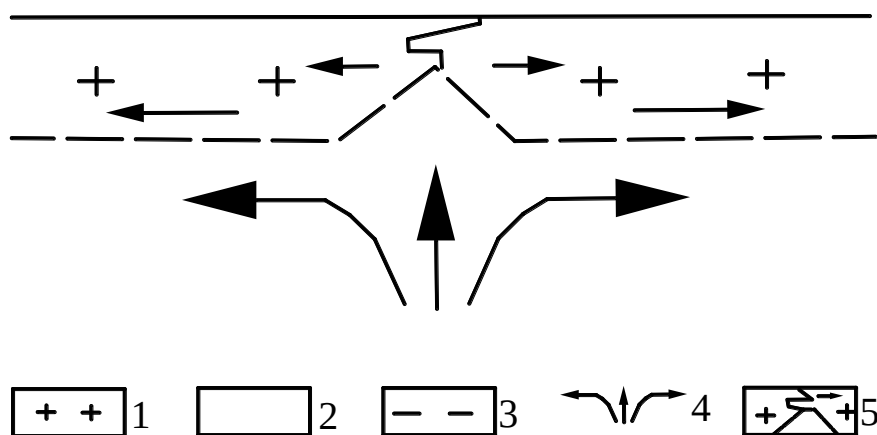
1 – кора континентального выступа; 2 – нижняя часть литосферы; 3 – ультраосновные породы мантии; 4 – нисходящий конвективный поток; 5 – граница литосферы;  $T^0 C$  – зона повышенных значений температуры;  $t^0 C$  – зона пониженных значений температуры

Рисунок 1.15 – Схема охлаждения мантийного вещества под плитой, надстроенной сверху континентальным выступом



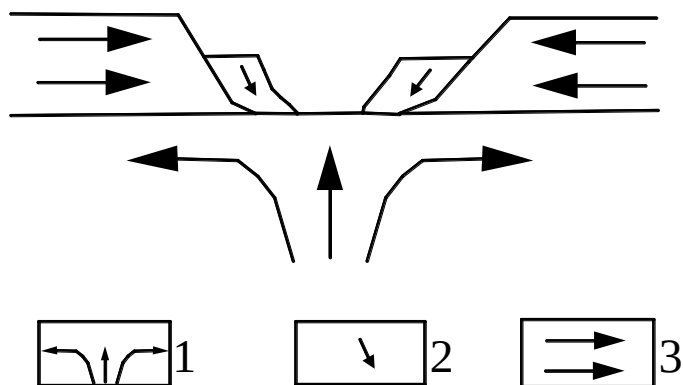
1 – литосфера; 2 – мантия; 3 – условная граница между литосферой и мантией; 4 – восходящий конвективный поток;  $T^0 C$  – повышенное значение температуры в зоне восходящего конвективного потока;  $t^0 C$  – пониженное значение температуры, возникающее по мере охлаждения конвектирующего вещества

Рисунок 1.16 – Механизм разогрева нижней части плиты восходящим конвективным потоком приводит к уменьшению мощности литосферы



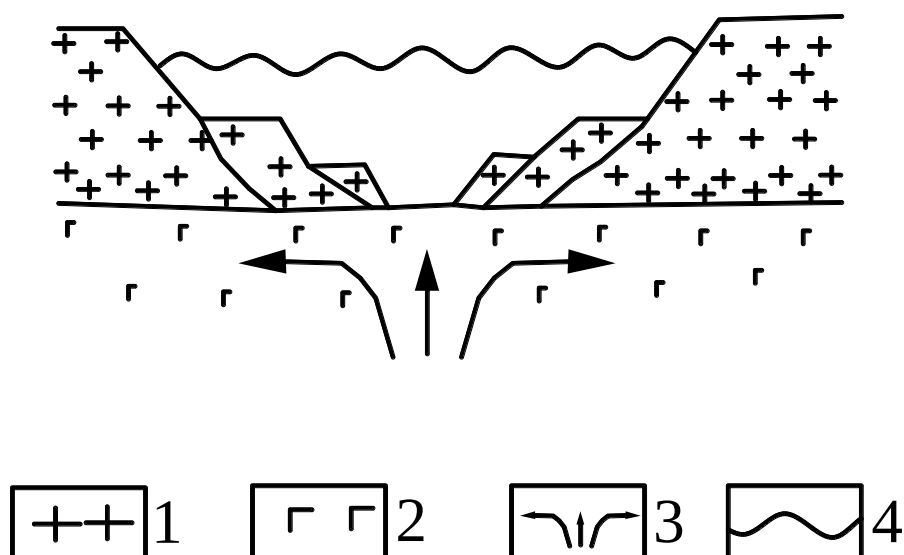
1 – литосфера; 2 – мантия; 3 – условная граница между литосферой и мантией; 4 – восходящий конвективный поток; 5 – формирование зоны разрыва литосферной плиты

Рисунок 1.17 – Раздвижение конвектирующей мантии приводит к разрыву коры снизу, затем разрыв проникает вверх



1 – направление движения конвектирующей мантии; условная граница между литосферой и мантией; 2 – направление смещения блоков горных пород в сторону открытого пространства; 3 – перераспределение напряжений в литосфере

Рисунок 1.18 – Разрыв в плите приводит к перераспределению напряжений в литосфере и смещению блоков коры в сторону открытого пространства, т.е. формируется рифт



1 – литосферная оболочка; 2 – мантийное вещество; 3 – направление движения конвектирующей мантии; 4 – уровень воды в океаническом бассейне

Рисунок 1.19 – Продолжающееся раздвижение плит приводит к возникновению океанического бассейна и формированию СХ

Постепенно разрыв достигает поверхности литосферы (рисунок 1.17). После разрыва литосферной оболочки, в ней происходит перераспределение напряжений. Горизонтальная составляющая поля напряжений увеличивается с глубиной и на каждом данном уровне обычно в несколько раз превышает вес перекрывающих горных пород [86]. Эта закономерность подтверждается материалами непосредственных измерений, выполненных в различных районах мира. Перераспределение напряжений выражается в формировании трещин разгрузки вдоль зоны разрыва и смещении блоков коры в сторону открытого пространства, т.е. формируются оползни в скальных породах (рисунок 1.18).

Продолжающееся раздвижение плит приводит к формированию межконтинентального бассейна (рисунок 1.19). Если разрыв литосферы привел к формированию океанического бассейна, в зоне разрыва формируется срединно-океанический хребет (СОХ).

СОХ возвышаются над дном океана на 2-4 км и не достигают уровня океана на 2-2,5 км. Гипсометрически СОХ расположены значительно ниже, чем континентальные выступы. В зоне СОХ происходит постоянный направленный прогрев снизу и быстрое охлаждение вещества сверху. Интенсивная конвекция мантийного вещества в зоне СОХ способствует приподниманию вновь образуемой тонкой корки (рисунок 1.20), ее разламыванию и гравитационному смещению блоков коры, т.е. к формированию оползней в скальных породах. Гребни рифтовых долин разорваны на отдельные участки трансформными разломами, по которым происходят сдвиговые смещения плит.

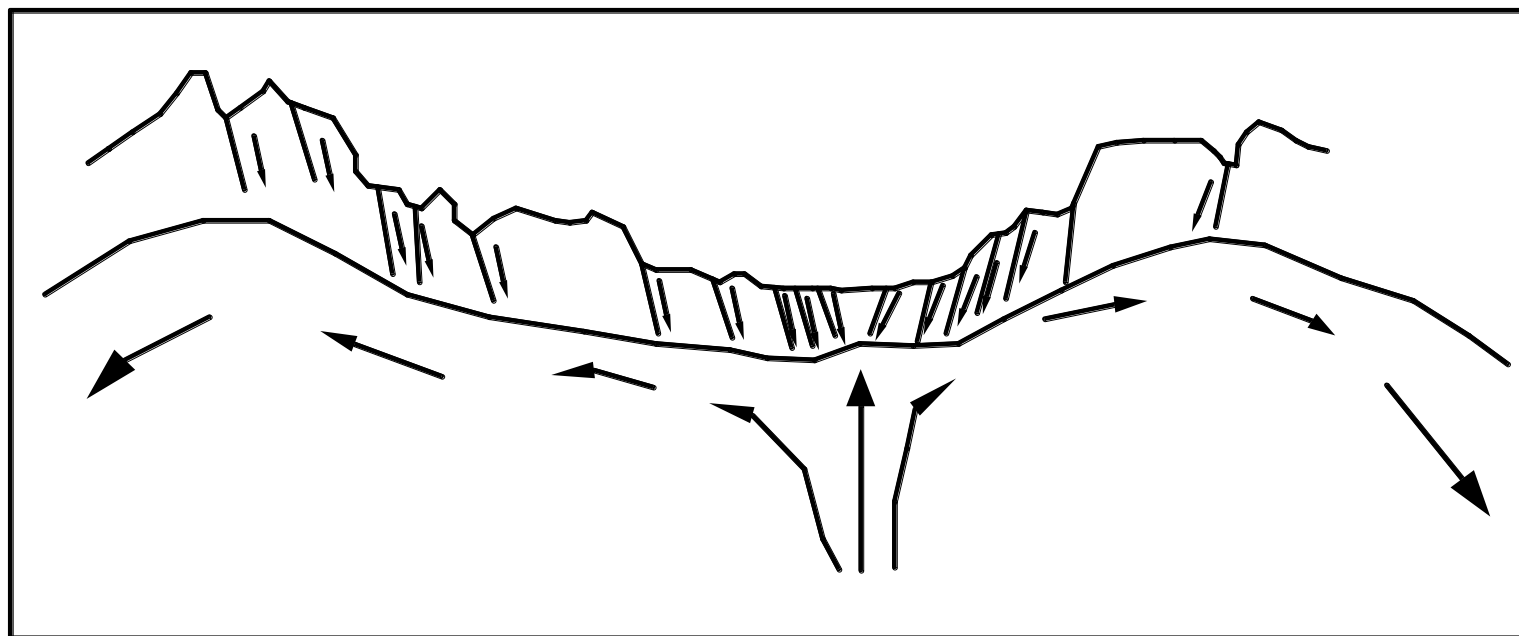
Как показывают исследования океанического дна, не все океанические хребты занимают срединное положение на океаническом дне. Поэтому в работе принят термин *спрединговый хребет (СХ)*, который отражает динамический процесс, а не расположение хребта относительно континентальных выступов.

*Существование рифта не означает, что он формировался в процессе спрединга. Рифт - это морфологический объект, а причины растяжения могут быть различные [85].*

На основании геофизических исследований принято считать, что кора имеет слоистое строение. На этом основании выделяют **«океанический», «континентальный» и «переходный» типы коры.** Применение термина «слой» для описания разновидностей коры, слагающей континентальные выступы и океанические впадины невозможно, поскольку с точки зрения геодинамики они не отражают ни генезис, ни строение, ни условия образования. В качестве доказательства рассмотрим условия формирования коры слагающей дно океана, континента и зоны сочленения континента и океана.

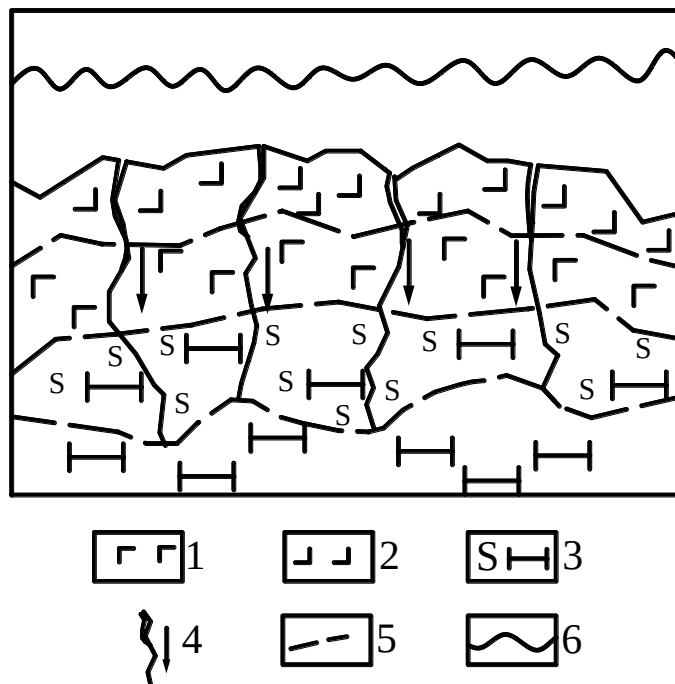
Постоянно обновляющаяся и конвектирующая мантия максимально приближена к экзосфере в рифтовой зоне, где находится в условиях низких давлений и повышенных температур. Это способствует формированию магматического очага в рифтовой зоне. Обычно считается, что в рифтовой зоне СХ расплавленные базальты выдавливаются холодными плитами. На самом деле, процесс развивается иначе: в зазоре между расходящимися плитами, обнажается или расположен близко к поверхности участок конвектирующей расплавленной мантии. Мантийное вещество, «расползаясь» на границе с экзосферой, одновременно покрывается медленно остывающей и растрескивающейся каменной коркой. «Через трещины океаническая вода проникает в мантию, сложенную ультраосновными породами, которые подвергаются гидратации и превращаются в серпентиниты. Серпентиниты закрывают доступ воды в более глубокие зоны мантии» [47]. Породы, слагающие океаническое дно являются гидратированными продуктами магматической дифференциации мантийного вещества. Они не похожи на слои, поскольку не имеют четких границ и признаков осадочных толщ. Скорее, они напоминают зоны выветривания в трещиноватой породе (рисунок 1.21), что зависит от условий их образования. Плиты, слагающие дно океанов, перекрыты пелагическими осадками, они **первичны.**

Как мы выяснили выше, плиты, состоящие из остывшего мантийного вещества, могут формироваться не только в рифтовой зоне на дне океана, но и при раскалывании «континентальной» плиты. Раскалывание плиты под влиянием расходящегося конвективного потока можно назвать спрединговой зоной (СЗ). Если охлаждение мантийного вещества в СЗ происходит в атмосферных условиях, а не под поверхностью океана, где формируется СХ, серпентиниты не образуются. Выяснив суть процесса образования коры в СЗ,



1– направление движения конвектирующей мантии; 2 – гравитационное смещение оползневых блоков вследствие перераспределения напряжений

Рисунок 1.20 – Схема формирования спредингового хребта (по данным Le Pichon X. [14], с дополнениями автора)



1 – габбро; 2 – базальты; 3 – серпентинизированные (S) ультраосновные породы; 4 – трещины, возникающие в результате охлаждения дифференцированного мантийного вещества, являются путями миграции океанических вод в новообразованной мантийной коре; 5 – условные границы между магматической дифференциации мантийного вещества в мантийной коре

Рисунок 1.21 – Схема строения коры в зоне СХ

заменим географический термин «**океаническая кора**» на термин – «**кора мантии**»<sup>1</sup>. Для описания массивов пород, слагающих отдельные участки континентальных выступов, предлагается применять термин «**мантийная кора**».

Так называемая «континентальная» кора формируется на конвергентной границе плиты, где происходит субдукция (поглощение) коры мантии с перекрывающими ее осадками в мантию. Субдукция влияет на смещение литосферных пластин и блоков – различных фрагментов структурных элементов земной коры на активных окраинах плиты. Они сдвигаются, пододвигаются, надвигаются, сталкиваются, скользят друг относительно друга.

На конвергентных границах возникают глубоководные желоба, островодужные бассейны, горные хребты. Образовавшись в зоне спрединга, гидратированная кора мантии вместе с покрывающими ее пелагическими осадками погружается в зону субдукции. Отдельные блоки мантийной коры при закрытии окраинных морей надвигаются на окраину литосферной плиты, под которую происходит субдукция. Продукты переработки мантийной коры и осадков, а также формы рельефа, осложняющие океаническое дно, надвинутые на окраину плиты или затянутые в зону субдукции являются материалом для

<sup>1</sup> По предложению В.П. Олексенко: кора мантии – более удачный термин для обозначения коры, сформированной на мантии.

формирования коры, слагающей континентальные выступы. Более подробно механизм формирования композиционной коры будет рассмотрен далее.

Кора континентальных выступов – **композиционная**, т.к. она состоит из фрагментов структурных элементов земной коры (литосферных пластин и блоков), сформировавшихся в различных геодинамических обстановках и надстроивших плиту сверху [85].

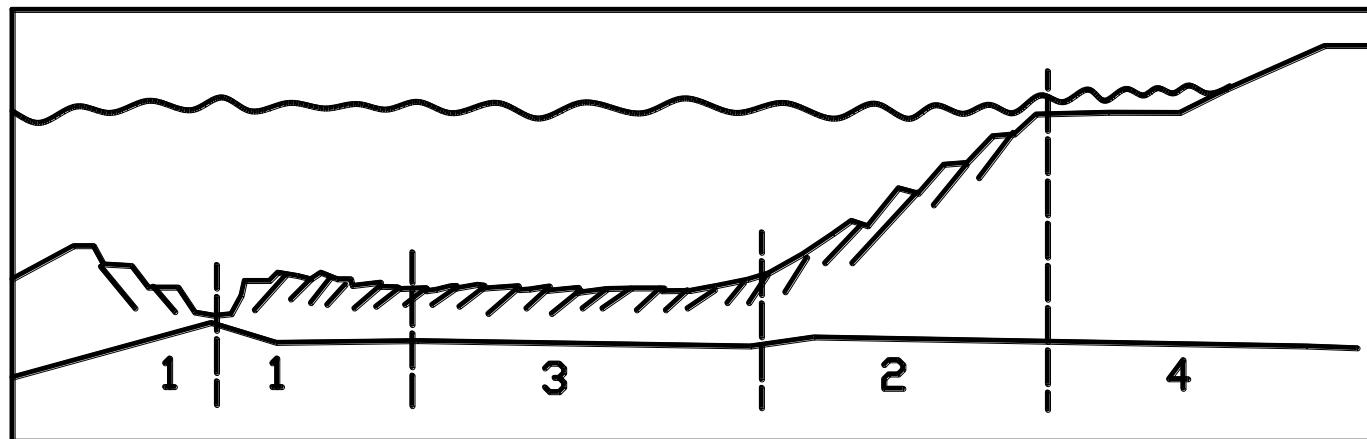
Условия возникновения **коры «переходного типа»** связаны с формированием СЗ. Обычно предполагается, что переходная кора слагает шельфовую зону и является границей между континентом и океаном (рисунок 1.22). Рассмотрим условия формирования шельфа. Шельф, как известно, соединяется склоном (его обычно называют континентальным с абиссальной частью бассейна). Ввиду того, что шельфы различаются структурными формами и характером развития, отмечается также проникновение в шельфы океанских структур – глубинных разломов. Пример: область восточного шельфа Северо-Американского континента.

Разнообразие типов коры шельфов зависит от того, какая часть плиты подвергалась расколу: сложенная корой мантии или композиционной корой. Ступенчатая форма склона образовалась при перераспределении напряжений в земной коре, вызванных расколом плиты. В зависимости от геодинамической обстановки, шельфы могут располагаться внутри плиты и на ее окраине. Место соединения «океанической» плиты и континентальной окраины без глубоководного желоба обычно называется **пассивной окраиной континента**, иначе говоря, *эти окраины располагаются между СХ и окраиной континента*, т.е. *внутри литосферной плиты* (рисунок 1.22). Мы предлагаем называть такие зоны **«внутриплитными пассивными зонами шельфа»** [85]. При раздвижении плит в стороны от СХ, оползшие блоки взбрасываются, они формируют остаточные структуры, слагающие дно абиссальной впадины.

Это приводит к нивелированию рельефа океанического дна. С границами структурных блоков может быть связано локальное гидротермальное оруденение, но только в СХ. Не важно, каким типом коры сложена литосферная плита в зоне шельфа: мантийным, или композиционным, поэтому термин **«кора переходного типа»** в геодинамике является лишним [85, 87, 88].

Изучая геодинамические условия формирования верхней оболочки Земли, мы пришли к выводу, что термины «кора» и «литосфера» являются синонимами и описывают каменную оболочку Земли. Но необходимо иметь в виду два обстоятельства. Во-первых, понятия **«литосфера»** и **«кора»** применяются к объектам различного масштаба. Термин «литосфера» – к глобальным объектам, охватывающим всю каменную оболочку Земли, а термин «кора» – при изучении и описании процессов и явлений верхней части литосферы. Во-вторых, литосфера формируется за счет охлаждения мантийного вещества, а кора – продукт переработки пород на границах плит.

Различие в строении коры объясняется условиями образования, и преобразования вещества верхней части литосферных плит в период формирования земной коры на дивергентных и конвергентных границах



1– зона современного СХ, осложненного структурами оползания; 2 – граница «континентальной» части плиты определяется по оползневой зоне останца борта древнего СХ; 3 – ложе океана с остаточными структурами оползневых блоков; 4 – континентальная часть плиты

Рисунок 1.22 – Сходство остаточных структур СХ на континентальном склоне, СХ и в абиссальной впадине



### 1.3 Причины различия в скоростях движения литосферных плит

Свойства мантии под континентами и океанами различны. Под океанами верхний слой мантии отличается от нижележащих зон большей пластичностью – это **астеносфера**. О наличии такой зоны под континентами единого мнения нет: часть ученых считает, что астеносфера распространена только под дном океанов, другие считают, что она есть и под континентами, третьи считают, что астеносфера распространена под континентами частично (прерывисто).

Судить о наличии или об отсутствии астеносферного слоя, можно, восстановив условия образования и существования астеносферы. Астеносфера может быть сформирована только в рифтовой зоне СХ, где конвектирующая мантия постепенно остывая и покрываясь коркой, наращивающей плиту, расплзается, удаляясь от СХ.

Литосферная кора создает тепловой экран, мощность которого увеличивается по мере удаления от СХ к континентам за счет охлаждения мантии. Иначе говоря, существование ослабленной зоны в верхней мантии зависит от разницы температур: чем больше разница температур охлаждения и прогрева, тем больше вероятность формирования ослабленной зоны. Обнаруживаемые геофизическими методами на континентах ослабленные зоны, имеют локальное распространение.

Локальные участки в земной коре с ослабленными свойствами называют «астенослоями», «астенолинзами». Формирование ослабленных зон зависит от геодинамических условий. В районах недавнего или продолжающегося столкновения литосферных плит, где под вновь образованной композиционной корой еще не восстановлены  $P-t$  °C условия, характерные для мантии, фрагмент астеносферы некоторое время может сохраняться. То есть процесс охлаждения астеносферы под окраиной континента, где происходит формирование композиционной коры за счет переработки коры мантии в зоне субдукции, еще не завершился. На активных окраинах во время коллизии происходят межпластинные перемещения. Перемещение литосферных плит и пластин сопровождается трением и переплавлением гидратированных осадков. В результате образуются межслоевые интрузивы, ослабленные зоны.

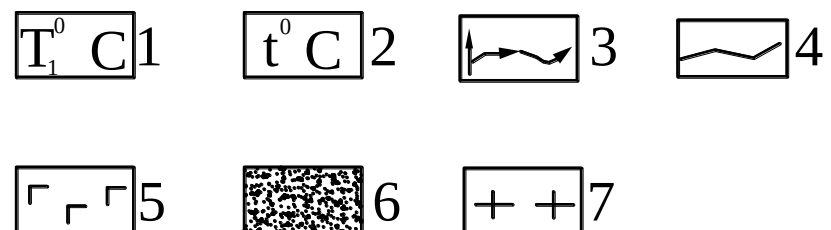
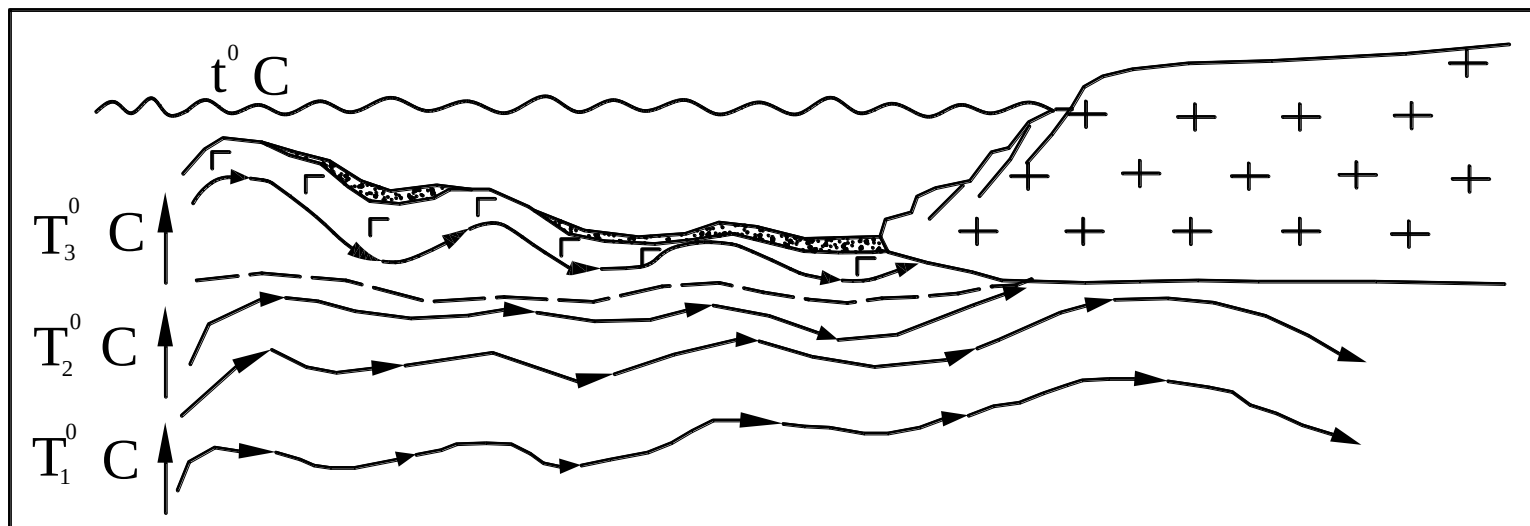
Расплавленные осадки формируют астенолинзы. *В том случае, если на континенте наблюдаются участки локального повышения температуры, это указывает на наличие молодых шовных зон.* Зону шва сталкивающихся литосферных плит на континенте можно назвать астеношвом. В современных зонах коллизии литосферных плит астеношвы некоторое время сохраняются. В моделях развития волнообразной конвекции (рисунки 1.6-1.9) отсутствует анализ влияния плотности и состава вещества, тем не менее, ясно, что скорость конвекции зависит от:

- *плотности вещества, слагающего конвектирующий слой;*
- *разницы температур на границах конвектирующего слоя;*
- *от толщины теплоизоляционного слоя, перекрывающего конвектирующий слой;*

- от удаленности источника тепла;
- от мощности конвектирующего слоя;
- от скорости охлаждения конвектирующего слоя: быстрое охлаждение ведет к быстрому погружению конвектирующей массы.

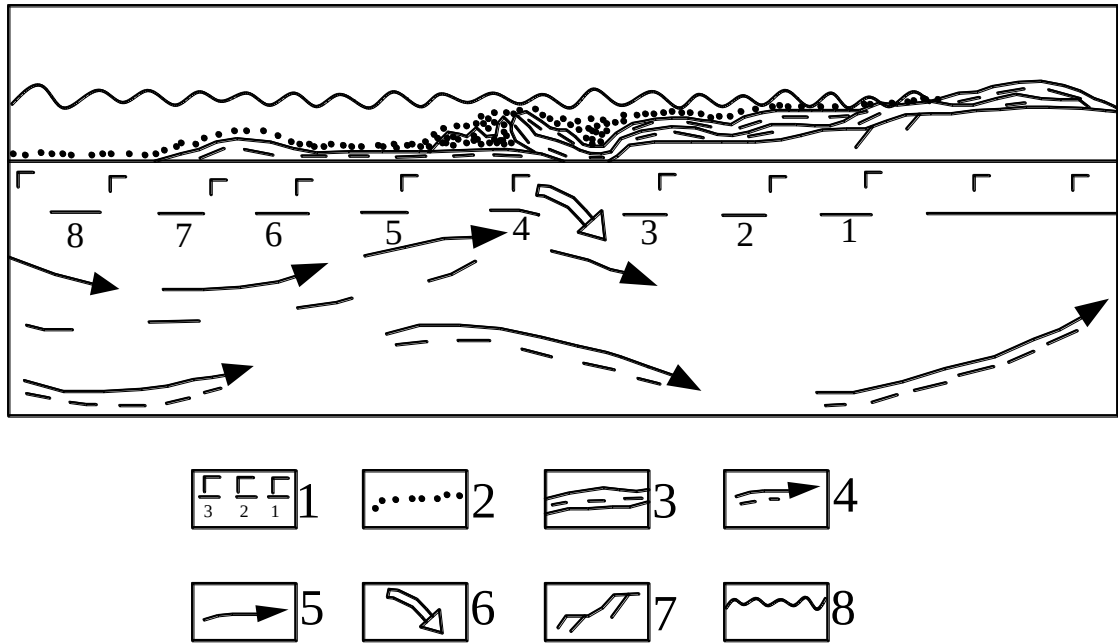
Мощность мантийной литосферы постепенно увеличивается по мере удаления от оси хребта, что связано с постепенным охлаждением и кристаллизацией мантии. Увеличение мощности литосферы приводит к уменьшению мощности астеносферы и более медленному охлаждению мантии. Конвекция в недрах Земли развивается по 4 модели (рисунок 1.9). В СХ происходит быстрое охлаждение поднимающегося горячего конвективного потока, поэтому формируются длинные ветви вертикальных участков конвективных ячеек и короткие горизонтальные. Но, в отличие от общепринятых схем, отражающих мантийную конвекцию, в горизонтальных составляющих ячеек конвекция распространяется волнообразно. С удалением от хребта, горизонтальные составляющие конвектирующих ячеек увеличиваются. Увеличение размеров горизонтальных составляющих в верхней части конвективных ячеек обусловлено замедляющимся охлаждением астеносферы сверху за счет увеличения мощности коры мантии и уменьшением температуры по мере удаления от СХ. Увеличение размеров горизонтальных составляющих конвективных ячеек в нижней части астеносферы происходит потому, что с удалением от восходящего конвективного потока мантия постепенно остывает, поэтому прогрев астеносферы происходит медленнее. Охлаждение мантии через плиту, надстроенную композиционной корой, осуществляется еще медленнее, чем охлаждение астеносферы, расположенной под тонкими мантийными плитами. Большая плотность мантии и медленное охлаждение способствуют медленному горизонтальному передвижению мантийно-композиционной плиты.

Конвективные ячейки астеносферы не могут самостоятельно погрузиться в более плотную и горячую мантию. Поэтому горизонтальные ветви ячеек астеносферы и мантии некоторое время будут перемещаться в одном направлении, затем, когда вещество астеносферы прогреется от нижележащей мантии, конвективный поток астеносферы направится вверх, т.е. конвекция в астеносфере проявляется волнообразно и постепенно затухает, по мере увеличения мощности коры мантии (рисунок 1.23). Но с глубиной в мантии волнообразность конвективных ячеек на горизонтальных участках постепенно исчезает. Процесс конвекции в астеносфере будет продолжаться, до тех пор, пока не сровняются температура астеносферы и мантии, т.е. *если сама мантия остынет до такой температуры, что уже не сможет прогреть вышележащую астеносферу*, охлажденное вещество конвективной ячейки астеносферы совпадет с опускающейся ветвью конвективной ячейки мантии и сформируется зона субдукции (рисунок 1.24). Начало заложения субдукции сопровождается медленным погружением мантийной плиты и соскабливанием с нее нелитифицированных осадков. Первоначально зона субдукции формируется под литосферной плитой. Погружаемая мантия последовательно тянет за собой жесткие литосферные пластины, формирующие кору мантии.



1 – зона повышенных значений температуры в зоне конвекции; 2 – температуры, характерные для экзогенных условий; 3 – форма конвективных потоков в мантии и астеносфере; 4 – граница мантии и астеносферы; 5 – кора мантии; 6 – осадочный слой; 7 – композиционная кора

Рисунок 1.23 – Модель формирования конвекции в астеносфере на участке от зоны СХ до внутриплитного шельфа



1 – кора мантии (цифры означают последовательность формирования коры мантии в зоне СХ); 2 – нелитифицированные осадки; 3 – литифицированные осадки; 4 – направление движения конвектирующей мантии; 5 – направление движения конвективного потока в астеносфере; 6 – затягивание плиты в формирующуюся зону субдукции; 7 – остаточные структуры СХ; 8 – уровень воды в океане

Рисунок 1.24 – Модель формирования зоны субдукции. Отражено совпадение нисходящих ветвей конвективных потоков астеносферы и мантии

Этот процесс сопровождается трением и разогревом пород в зоне субдукции.

Для быстрого движения литосферных плит необходимо наличие астеносферы, мантийной плиты, ограниченной зонами спрединга, субдукции и трансформными разломами. Малые скорости взаимных перемещений литосферных плит характерны для мантийно-композиционных плит, в тех районах, где между СХ и континентом имеется внутриплитный шельф, это означает, что конвективные процессы в астеносфере и мантии еще не сформировали зону субдукции.

Необходимо понимать, что все плиты взаимосвязаны: раздвижение плит в СХ в одном районе Земли, способствует смещению плит в других районах, поскольку плиты и мантия составляют единое целое, и, говоря о движении плит, мы имеем в виду окаменевшую часть мантии, местами надстроенную сверху композиционной корой.

Направление движения плиты зависит от направления воздействующих на нее конвективных потоков мантии:

- Встречные конвективные движения мантии выражаются в неподвижности плит;

- Конвекция развивается от двух пар взаимно перпендикулярных потоков – плиты неподвижны;
- Если кроме встречных конвективных потоков формируется еще один, направленный вкrest простирания встречных, то плита будет двигаться именно в этом направлении. Это направление мы назовем результирующим;
- Если конвекция развивается от двух взаимно-перпендикулярных СХ, имеющих например, на востоке субмеридиональное, а на юге субширотное простирание, результирующая движения мантии будет направлена на северо-запад.

#### 1. 4 Геодинамическая модель эволюции литосферных плит

Внутриплитная пассивная зона шельфа существует до тех пор, пока не сформируется зона субдукции. Поскольку зона субдукции закладывается по мере охлаждения конвектирующего мантийного вещества, она не всегда совпадает с окраиной континента. Поэтому окраину, под которую происходит субдукция, предлагаем назвать **«активной окраиной плиты»**. Если зона субдукции совпадает с окраиной континента, т.е., окраины континента и плиты совпадают, то такую окраину можно назвать **«активной окраиной континента»**.

Доказательства того, что движение литосферных плит зависит от динамики мантии освещено в работах [42; 49; 50; 60; 77-83]. Чтобы понять физическую суть процесса преобразования пассивной окраины в активную, используем эти доказательства и наше представление о механизме формирования внутриплитного шельфа.

Формирование внутриплитного шельфа мантийно-композиционной плиты начинается с развития спрединга, в результате которого конвектирующая мантия, с формирующейся коркой на мантии растаскивает расколовшиеся плиты. Расколовшиеся плиты, наращиваясь в ЗС, увлекаются конвектирующим веществом, постепенно удаляясь от ЗС. В том месте, где произошел раскол, образуется грабен, в который с бортов расходящихся плит поступает обломочный материал.

Спрединг сопровождается магматизмом. Если плита, подвергаясь раскалыванию, была мантийной, проявится магматизм основного состава. Если расколу подвергалась та часть плиты, которая состояла из композиционной коры, проявится бимодальный магматизм.

По мере удаления новообразованных плит от СХ та часть плиты, которая вначале подверглась расколу, превращается во внутриплитный шельф мантийно-композиционной плиты (рисунки 1.25). С тех пор, как произошел раскол плиты, начинается процесс осадконакопления. Шельф перекрыт осадочным слоем бóльшей мощности, чем осадки мантийной коры. Такие условия можно объяснить условиями его формирования. С момента раскола плиты последовательно формируются осадки. Чем ближе к месту раскола плиты и чем ниже залегают слои, тем они древнее (рисунок 1.26). Возраст осадков будет соответствовать времени их образования: чем выше по

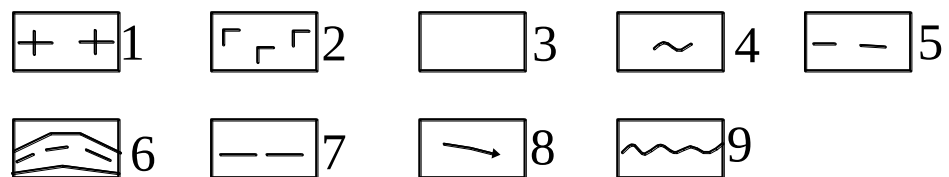
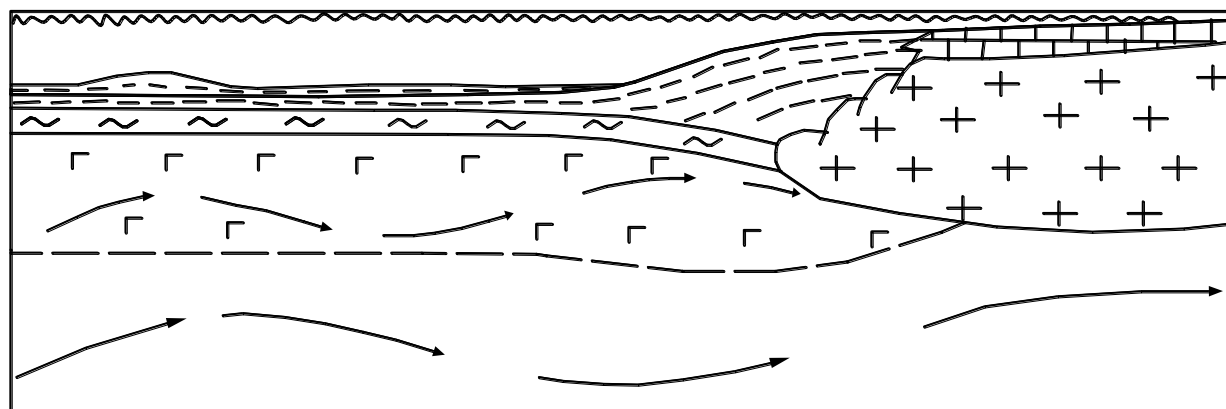
разрезу, тем моложе осадки. Состав и мощность осадочного слоя в океаническом бассейне зависят от удаленности континентальных выступов от окраины плиты, формы континентальных окраин, состава пород, слагающих континентальные выступы, направления подводных течений, минерализации, температуры воды, климата. В связи с этими условиями, состав осадков изменяется по горизонтали и по вертикали. Это подтверждается изучением современных океанических бассейнов [65, 89; и др.].

Материалом для формирования композиционной коры служит поглощаемая в зоне субдукции кора мантии с выступающими над ней положительными формами рельефа, сформированными в зоне спрединга и перекрывающими ее осадками. Начало преобразования внутриплитного шельфа мантийно-композиционной плиты в активную окраину происходит под влиянием мантийной конвекции. Когда совпадут нисходящие ветви конвективных ячеек мантии и астеносферы, остывающая и покрытая коркой мантия, начинает погружаться в недра, формируя на поверхности глубоководный желоб. Обычно этот период совпадает с медленным затягиванием коры мантии в зону субдукции. В научной литературе это явление принято называть «медленная субдукция». Поскольку со времени раскола плиты в этой зоне были созданы условия для формирования более мощной толщи осадочных отложений, чем на океаническом дне, нелитифицированные осадки с фрагментами мантийных пород, некоторое время после заложения желоба соскабливаются с субдуцируемой плиты, претерпевая метаморфизм и сминаясь в изоклинальные складки (рисунок 1.27). За счет образовавшихся складок формируются толщи метаморфических пород большой мощности.

Литифицированные осадки, перекрывающие мантийную кору, и погружаемые вместе с ней в мантию, преобразуются сначала в метаморфические, а затем в магматические породы кислого-среднего состава (рисунок 1.28). Продолжение субдукции приводит к формированию новых структурных элементов земной коры, которые наращивают композиционную кору. Кроме процессов магматизма и метаморфизма, в композиционной коре возрастают напряжения, вызываемые сдвижением литосферных пластин и блоков, это сопровождается формированием пликативно-дизъюнктивных деформаций (рисунок 1.29).

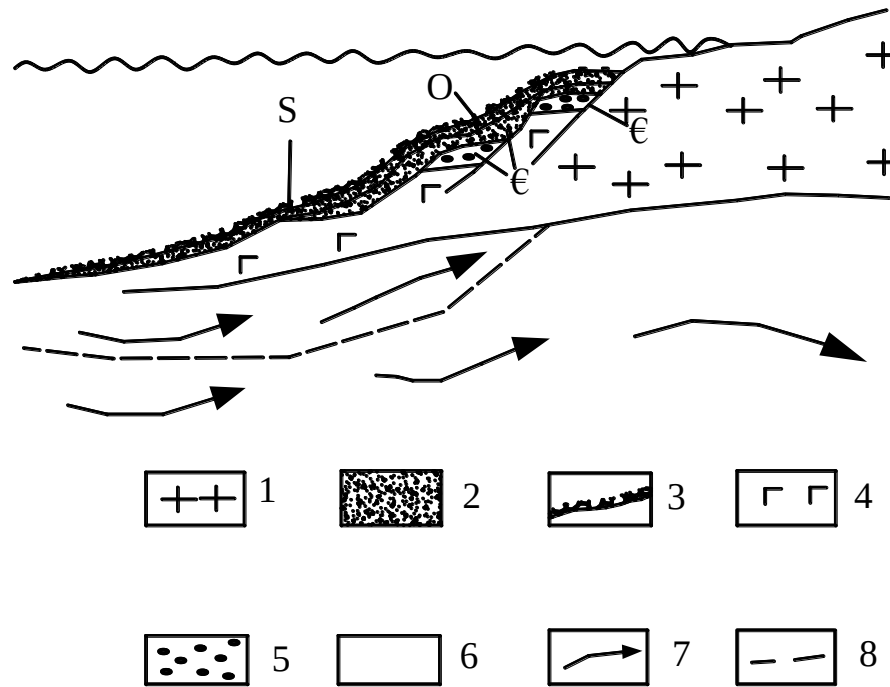
#### **1.4.1 Анализ современных представлений о формировании островодужных бассейнов**

Анализ гипотез формирования задуговых бассейнов и островных дуг, приведенный в таблице 1.1, показал, что авторы [50, 89; 91-97] гипотез описывали геодинамические процессы и явления терминами, заимствованными из геосинклинальной гипотезы, которые не верно отражают физическую суть процесса [87]. Это повлекло развитие целой цепочки неверных представлений: во-первых, о механизме формирования окраинных



1 – композиционная кора; 2 – кора мантии; 3 – мантия; 4 – литифицированные пелагические осадки; 5 – слаболитифицированные осадки; 6 – океанический вал; 7 – постепенный переход астеносферы в мантию; 8 – направление движения конвектирующего вещества мантии и астеносферы; 9 – уровень воды в океане

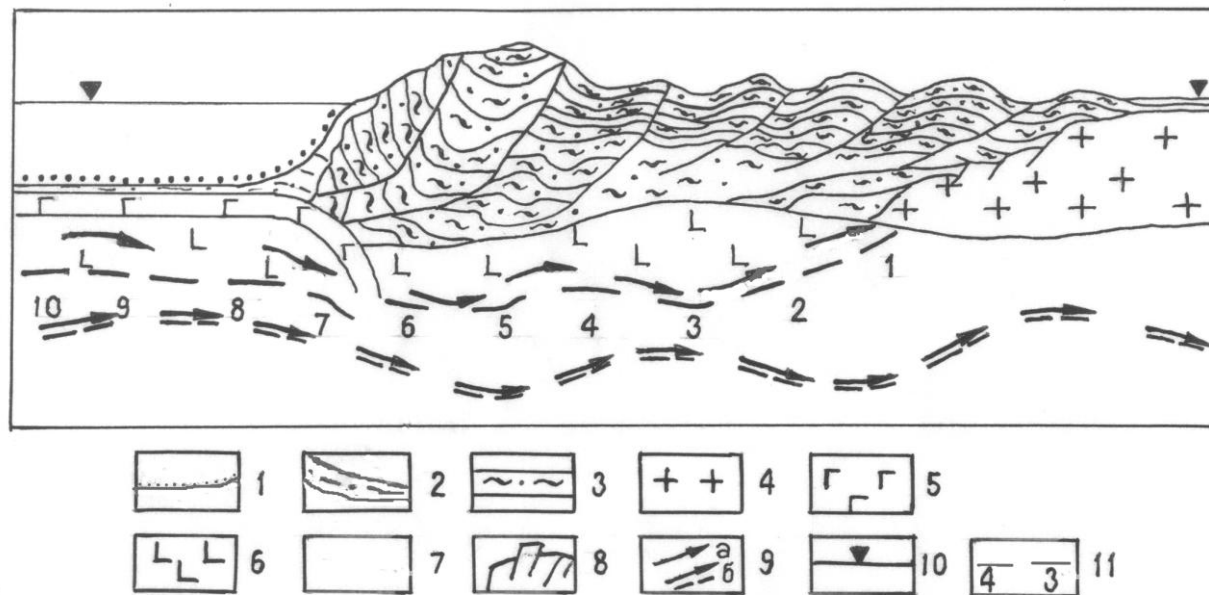
Рисунок 1.25 – Строение внутриплитной зоны шельфа



1 – композиционная кора; 2 – литифицированные осадочные слои (терригенные и пелагические); 3 – нелитифицированные пелагические осадки; 4 – гидратированная кора мантии; 5 – продукты разрушения остаточных структур СХ; 6 – мантийное вещество; 7 – направление движения конвектирующей мантии

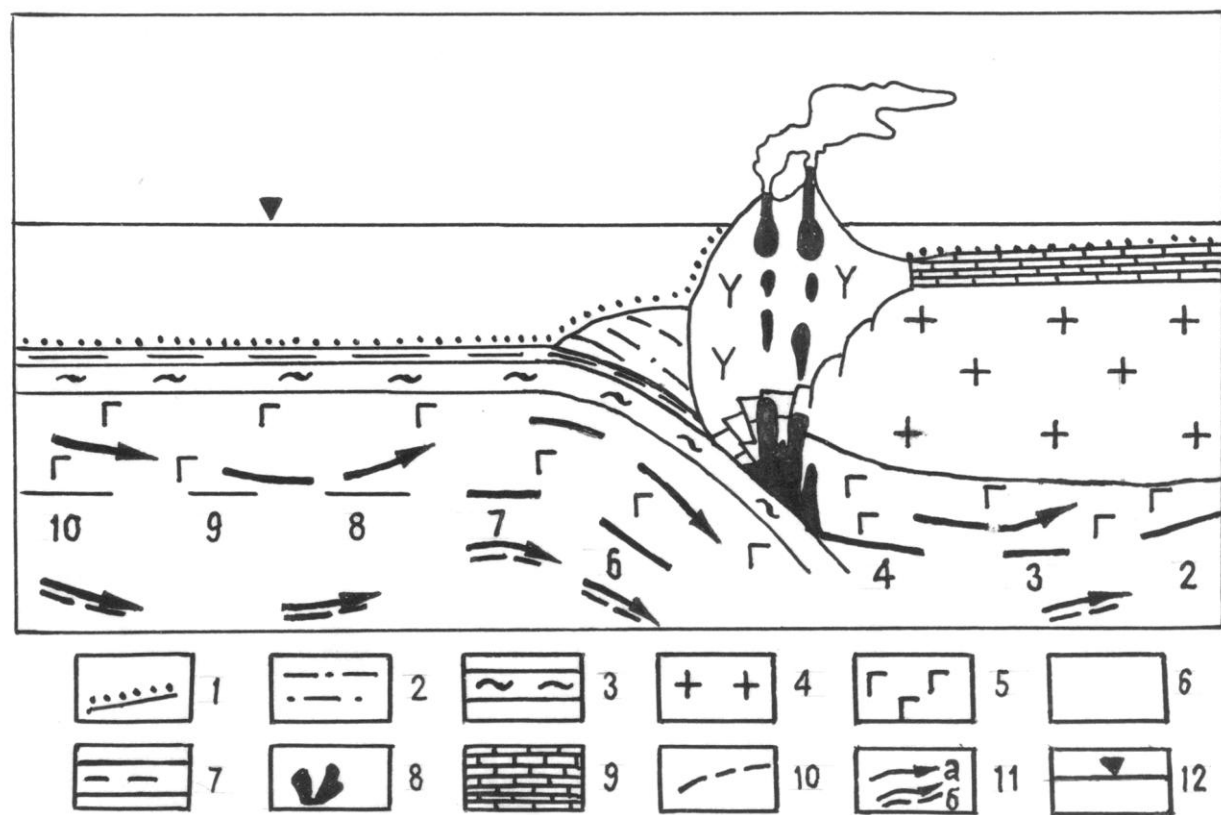
Рисунок 1.26 – Схема строения шельфа. Бывшая область разрыва плиты с течением времени, по мере удаления от СХ, превратится во внутриплитный шельф





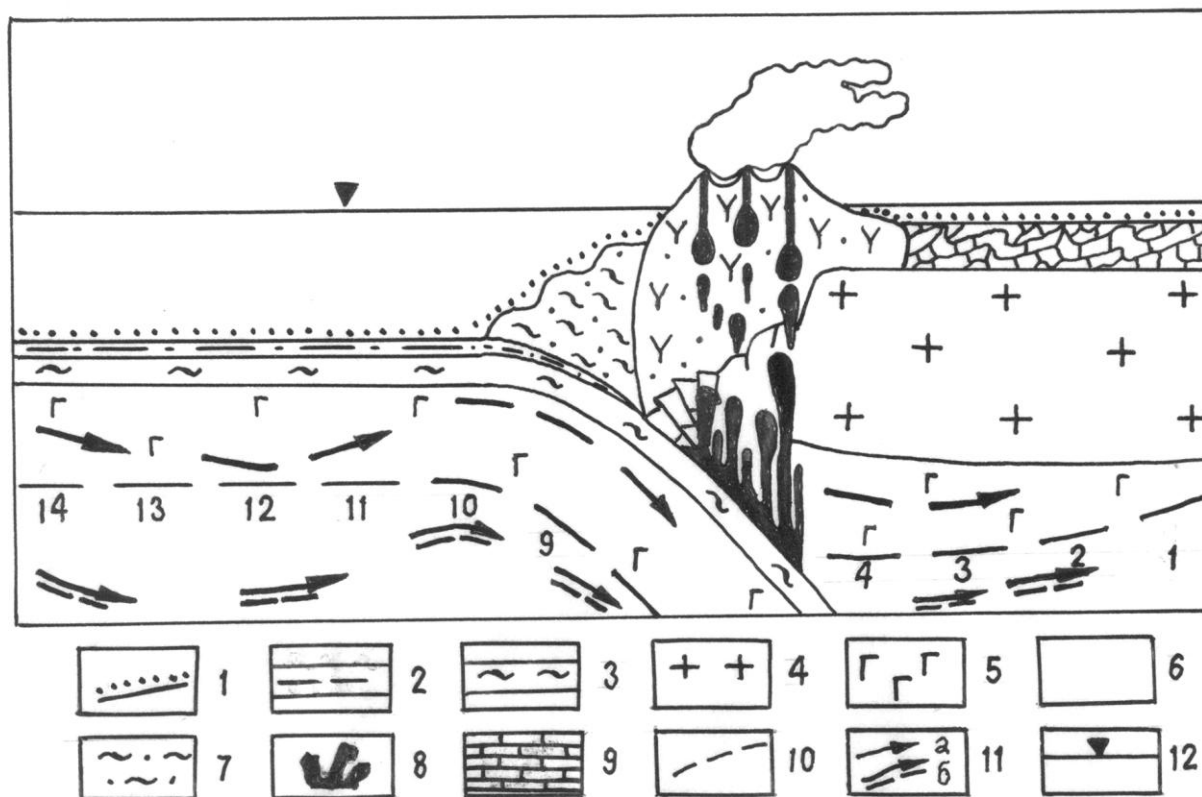
1 – пелагические и терригенные осадки; 2 – литифицированные пелагические осадки; 3 – пелагические осадки, не затянутые в желоб и претерпевшие метаморфизм (крупные массивы образуются на ранней стадии субдукции); 4 – внутриплитный шельф; 5 – кора мантии; 6 – астеносфера; 7 – мантия; 8 – остаточные структуры СХ; 9 – направление движения конвектирующего вещества астеносферы (а) и мантии (б); 10 – уровень воды в океане 11 – граница постепенного перехода астеносферы в мантию (цифры означают условный возраст мантийной коры);

Рисунок 1.27 – Заложение зоны субдукции и преобразование пелагических осадков в метаморфизованные толщи в начальную стадию заложения зоны субдукции



1 – пелагические осадки; 2– пелагические осадки, соскабливаемые надвигаемой плитой у зоны субдукции; 3 – кора мантии; 4 – композиционная кора мантийно-композиционной плиты; 5 – астеносфера; 6 – мантия; 7 – литифицированные осадки; 8 – магматические очаги на субдуцируемой плите; 9 – задуговой бассейн; 10 – постепенный переход астеносферы в мантию; 11 – направление движения конвектирующего вещества астеносферы (а) и мантии (б); 12 – уровень воды в океане

Рисунок 1.28 – Преобразование осадков в зоне субдукции на дивергентной окраине плиты



1 – пелагические осадки; 2 – литифицированные пелагические осадки; 3 – кора мантии; 4 – композиционная кора мантийно-композиционной плиты; 5 – астеносфера; 6 – мантия; 7 – метаморфизованные пелагические осадки и образование аккреционной призм; 8 – зона преобразования метаморфических пород в магматические; 9 – деформированные пластины задугового бассейна (междуговой, межостровной), на период закрытия окраинного моря; 10 – постепенный переход астеносферы в мантию; 11 – направление движения конвектирующего вещества астеносферы (а) мантии (б); 12 – уровень воды в океане

Рисунок 1.29 – Смятие литосферных пластин задугового бассейна в складки

Таблица 1.1 – Анализ гипотез задугового спрединга, предлагаемых различными авторами

| Автор гипотезы, ссылка на литературу   | Гипотеза задугового спрединга                                                                                                                                                                                                                                                                                | Критический анализ гипотезы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Положительные моменты гипотезы                                                    |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                      | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 4                                                                                 |
| Karig D.E., 1971, [91]                 | Бассейны с океанической корой в тылу островных дуг образуются в результате подъема <b>мантийного диапира</b> , зарождающегося на поверхности субдуцируемой плиты и вызывающего локальный <b>задуговой спрединг</b> . Степень активности окраинных бассейнов связана с термогидродинамическим режимом диапира | Во-первых, <b>диапир</b> – это складка, образованная под воздействием внедряющегося вещества, например, каменной соли, магмы. Во-вторых, мантийный диапир зарождается не в мантии, а на поверхности субдуцируемой плиты, он не может способствовать значительному раздвижению литосферных плит и формированию окраинного бассейна                                                                                                                                                           | Рассмотрен вопрос расплавления поверхности погружаемой в мантию литосферной плиты |
| Артюшков Е.В., 1979, [93]              | <b>Диапир</b> , вызывающий спрединг окраинных морей, берет свое начало с границы «ядро – мантия»                                                                                                                                                                                                             | Применение термина « <b>диапир</b> » ошибочно. Возникновение диапира на границе «ядро – мантия» не возможно ввиду перемешивания вещества в самой мантии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                   |
| Монин А.С. и Сорохтин О.Г., 1983, [50] | <b>Изостатический</b> подъем астеносферного вещества (задуговой диапиризм) в тылу островной дуги связан с <b>миграцией дуги</b> в сторону океана тогда, когда скорость поддвигания плиты под дугу становится меньше некоторого критического значения, определяемого вязкостными свойствами литосферы         | Миграция островной дуги в сторону океана не может привести к раскалыванию литосферной плиты. Поскольку островная дуга на начальном этапе развития представляет собой небольшие блоки коры, отколовшиеся от субдуцируемой плиты или от плиты, под которую происходит субдукция. Астеносферное вещество в задуговом бассейне не может проникнуть в верхнюю часть литосферной плиты еще и потому, что задуговые бассейны формируются в условиях сдвигания (поддвигания) плит, а не раздвижения |                                                                                   |

Продолжение таблицы 1.1

| 1                                                                                                                                                                                          | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 4                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Molnar P., Atwater T., 1978, [94] (эта модель подтверждена с помощью масштабного физического моделирования А.И. Шеменда, 1985), [98]; Канамори Х. (эволюционная модель), 1977, [99]</p> | <p>Субдукция под действием силы тяжести опускающейся ветви плиты, которая, будучи тяжелее окружающей мантии, стремится увеличить крутизну своего погружения вплоть до вертикального положения, чем и обуславливается предполагаемая миграция желоба и островной дуги в сторону океана и, как следствие, раскрытие окраинного бассейна. Процесс «отступления» желоба и дуги в океан развивается только в случае субдукции достаточно древней и, следовательно, холодной и плотной океанской плиты. При относительно небольшом возрасте субдуцируемых участков литосферы миграции зон поддвига не происходит и тыловые бассейны не раскрываются. Начальная стадия процесса субдукции характеризуется <b>пологим углом наклона поддвигаемой плиты</b> и ее сильным <b>сцеплением с нависающей плитой</b>, т.е. соответствует чилийскому типу субдукции. Со временем сцепление между плитами ослабевает, <b>крутизна погружения литосферы увеличивается</b> и на зрелой стадии развития процесса тип субдукции постепенно приближается к Марианскому желобу</p> | <p>Возникновение зоны субдукции обусловлено погружением мантии вследствие ее охлаждения. При совпадении нисходящих конвективных ветвей мантии и астеносферы, на поверхности Земли формируется желоб. Формирование желоба начинается снизу – от «границы» литосфера-мантия. Блоки, выступающие над поверхностью субдуцируемой плиты, формируют островные дуги. Поэтому, желоб не может передвигаться то в сторону океана, то в сторону континента. Мантия не является жидкостью, и с глубиной плотность в ней увеличивается. Связь между возрастом плиты и «отступанием» желоба и дуги в океан – явление случайное. А если островной дуги нет? Будет ли мигрировать желоб? Не объясняется причина изменения угла наклона поддвигаемой плиты. Классификация основана на очевидности наблюдаемых процессов субдукции в конкретных регионах</p> | <p>Отмечается связь предполагаемой миграции желоба и островной дуги с крутизной погружения плиты. Рассмотрен вопрос расплавления поверхности погружаемой в мантию литосферной плиты</p> |
| <p>Чейз, [119] Моберли 1978, [191]; Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А., 1979, [90]</p>                                                                                                          | <p><b>Гипотеза «заякоривания»:</b> фиксация погружаемой ветви плиты в мантии и образование окраинных морей за счет отодвигания нависающей плиты от неподвижной зоны субдукции в сторону континента. В противоположном случае надвигания нависающей плиты на «заякоренную» зону субдукции формируются активные континентальные окраины</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Фиксации погружаемой плиты не может быть, поскольку она более подвижна, чем та плита, под которую происходит субдукция</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                         |

Продолжение таблицы 1.1

| 1                                                               | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3                                                                                                                                                                                                                                 | 4                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Г. Пакхем и Д. Фалви, 1971, [92]                                | Раскрытие тыловых бассейнов произошло в результате изменения системы подлитосферных конвективных течений, вызванного столкновением Индии с Евразией                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Столкновение плит не может вызвать изменения направления движения подлитосферных конвективных течений, поскольку причины движения конвективных потоков обусловлены химико-плотностной конвекцией, а не движением литосферных плит |                                                                              |
| Т.Нельсон и П.Темпл, 1972; [96]                                 | Существование глобального астеносферного потока, текущего в восточном направлении и создающего давление на погруженные участки плит, которое обуславливает задуговой спрединг                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Не ясны механизм раскрытия задуговых бассейнов, взаимосвязь астеносферного потока и его давления на погруженные участки                                                                                                           |                                                                              |
| Sleep N.H., Toksöz M.N.,1973, [100]; Лобковский Л.И.,1984, [58] | Геодинамическая обстановка и тепловой режим в окраинных бассейнах связаны с действием вторичной локальной конвекции в астеносфере                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Не объясняется влияние вторичной локальной конвекции в астеносфере на формирование задугового бассейна                                                                                                                            | Отмечается наличие теплового режима окраинных бассейнов                      |
| Зоненшайн Л.П. и Кузьмин М.И., [101]                            | Окраинные моря с тыловодужным спредингом, или активные задуговые бассейны формируются в следующих геодинамических обстановках: а) при отторжении микроконтинентов; б) при расколе океанической плиты и подъеме мантийного диапира в тылу энсиматической островной дуги с образованием вначале междугового бассейна; в) в тылу реверсируемых, сталкивающихся с континентом островных дуг; г) при субдукции под косым углом «протекающего» (раскрывающегося) трансформного разлома; д) выход близко к поверхности Земли узких мантийных потоков. | В зонах субдукции не может развиваться задуговой спрединг; отторжение микроконтинентов не может влиять на раскол плиты; мантийные диапиры, потоки и пр. в конвектирующей мантии не формируются                                    | Отмечена субдукция под косым углом, но не объяснены причины ее возникновения |

морей, во-вторых, о первопричинах видимого движения литосферных плит; в-третьих, ошибочные гипотезы вызвали множество противоречий и вопросов. Например, моделирование [98] показало возможность возникновения условий растяжения в коре задугового бассейна за счет изменения крутизны погружения плиты, это заключение, было использовано для подтверждения того, что в задуговом бассейне развивается спрединг. Но спрединг и субдукция не могут развиваться в одном и том же месте одновременно. Таким образом, установленный А.И. Шемендой факт растяжения коры объясняет развитие процесса только в верхней части плиты – в коре надсубдукционной плиты.

Использование гипотезы изостазии, предложенной в XIX в Дж. Эри и Ф. Праттом: предполагало, что блоки коры плавают в более плотном и вязком подкоровом субстрате, подчиняясь закону Архимеда. Геологи и сейчас уверены, что континенты и микроконтиненты плавают и дрейфуют на жидкой мантии. Поэтому для твердых пород мантии нельзя применять закон Архимеда, он применим только к жидкостям. А мантия, хотя и обладает пластичностью, – это каменная масса, и вещество мантии уплотняется с глубиной. При увеличении нагрузки сверху породы мантии не могут ни вдавливаться, ни выпирать. Отсюда ошибочное представление о том, что в мантии и коре могут формироваться прогибы. *Явление изостазии применялось сторонниками фиксизма для объяснения формирования геосинклиналей, т.е. прогибов, которые на соседних участках компенсировались поднятиями.*

**Прогибы, прогибания (океанические впадины).** Обычно предполагается, что океаническое дно прогибается, но литосфера не может прогибаться, т.к. плотность вещества мантии с глубиной увеличивается под влиянием возрастающего давления вышележащих мантийных слоев.

Понижение океанического ложа при удалении от хребта вызвано растеканием охлаждающейся конвектирующей мантии: в СХ конвекция более интенсивная, а новообразованная корка мантии тонкая, поэтому СХ возвышается над океаническим дном.

**Прогибы** – опущенные или прогнутые участки земной коры. На континенте они выражены понижениями, межгорными и озерными котловинами. Но композиционная кора не может прогибаться, потому, что, во-первых, в коре с глубиной давление от вышележащих толщ уменьшается, а во-вторых, ниже коры расположена жесткая сухая мантия, в которой нет свободного места, для вдавливания вышележащих толщ. Следовательно, в ней не могут формироваться прогибы. Возникновение так называемых **впадин, прогибов** может быть обусловлено геодинамическими условиями формирования композиционной коры на конвергентных границах. Под действием бокового давления верхняя часть литосферных плит – кора может изгибаться вверх, создавая возвышенности и понижения. Из-за разницы в относительных превышениях создается видимость формирования впадин, на самом деле формируется **не прогиб**, а происходит *изгиб пластин, над ранее сформированным уровнем поверхности*. Сдвигание литосферных пластин и блоков на конвергентных границах, приводит к их нагромождению и формированию неровностей рельефа. Столкновение в верхней части земной

коры острыми выступающими краями островных дуг или континентальных окраин приводит к формированию понижений [65].

Образовавшиеся внутриконтинентальные котловины либо остаются заполненными морскими водами, либо их заполнение водой произойдет позже, и они будут представлять собой либо опресненные, либо осолоняющиеся внутриконтинентальные озерные впадины. Для объяснения формирования так называемого «спредингового моря», используют термин «мантийный диапир». Применение этого термина также противоречит теории тектоники плит.

**Диапир** – это структуры протыкания, в которых твердый, но подвижный материал ядра внедряется в перекрывающие, менее подвижные пласты [132]. Зарождение диапира в мантии не возможно, поскольку мантийное вещество, во-первых, является «сухим» и достаточно твердым, а во-вторых, глобальная конвекция в мантии, способствует перемешиванию вещества, поэтому в ней не могут возникать локальные участки расплавления и образования складок. *Плавление может возникать только при уменьшении давления сверху при интенсивном прогреве снизу, а это условие соответствует рифтовой зоне СХ:* уменьшение давления в верхней части Земли приводит к локальному расплавлению горячего вещества только в зоне восходящего потока. Поэтому в СХ и формируются магматические очаги ультраосновного и основного состава. *Либо разогрев и расплавление происходят при трении водонасыщенных литосферных пластин во время субдукции. Возможен также разогрев сдвигающихся пластин без расплавления, подтверждением этому является наличие термальных вод вдали от активных окраин континентов.* Рассмотрим условия возникновения так называемого «диапира», имеющего мантийный состав. Погружающаяся мантийная плита в верхней части сложена гидратированной корой мантии. «Плавление гидратированных пород в зоне субдукции происходит при более низких температурах, чем необходимо для кристаллизации в мантии» [47]. Таким образом, *на поверхности субдуцируемой плиты по мере ее погружения в исходную мантию формируются магматические очаги.* Субдукция способствует неравномерному растяжению и сжатию пород коры как на субдуцируемой плите, так и на нависающей плите, это приводит к образованию трещиноватой зоны (*проницаемой зоны*) в коре обеих плит. По трещинам растяжения в кору нависающей плиты внедряются расплавы, сформированные на поверхности погружающейся плиты. При этом происходят обогащение и переработка не только магматического расплава, но и вещества, слагающего нависающую плиту. Зоны растяжения субдуцируемой плиты являются источником поступления обломочного материала в желоб.

#### **1.4.2 Генезис положительных форм рельефа океанического дна, их роль в формировании композиционной коры**

Современный процесс раздвижения плит маркирован магнитными аномалиями и зональным распределением осадочных отложений на склонах



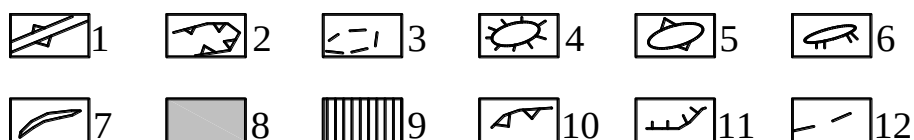
СХ. Перемещение литосферных плит подтверждается инструментальными наблюдениями [103,104].

Возраст океанических плато соответствует времени их формирования, определять их возрастную принадлежность и геодинамическую обстановку формирования можно только в каждом конкретном случае. Образование валов связано с движением астеносферных течений, оказывающих влияние на движение мантийной части плиты, в то время как часть плиты с композиционной корой движется под действием мантийных (более медленных) течений. Встретив сопротивление со стороны континентальной окраины, мантийная кора изгибается и на дне океана формируется вал (рисунки 1,25; 1,30; 1.31). Валы не принимают непосредственного участия в наращивании континентальной коры, но они являются предвестниками формирования глубоководных желобов и существуют некоторое время после их образования. После формирования желоба кора распрямляется и вал постепенно исчезает, поэтому перед некоторыми дугами в настоящее время еще существуют валы. Там, где валы сформированы, а желоба на поверхности еще нет, возможно, начался процесс субдукции нижней части литосферной плиты, т.е. нисходящие конвективные потоки астеносферы и мантии уже совпали.

Другие положительные формы рельефа, формирующиеся на океаническом дне, – так называемые «горячие точки» – следы раскола литосферных плит, образующиеся при перемещении литосферной плиты из низких широт в высокие и наоборот [105]. Наличие площадных групп вулканических островов с базальтовым щелочным вулканизмом свидетельствует об их формировании на критических широтах – 25-30<sup>0</sup> ю. ш. или с. ш. при изменении широтного положения плиты. Сорохтиным О.Г. [47] количественно установлено, что мембранная гипотеза отвечает реальной обстановке возникновения внутриплитного базальтового магматизма гавайского типа на Тихоокеанской плите. Доказано также, что если по краям плиты существуют упоры (нет зон субдукции), возникает арочный эффект, а если зоны субдукции есть, то арочный эффект возникнуть не может и плита не расколется.

*Возраст пород, слагающих вулканические постройки («горячие точки») океанического дна соответствует времени излияния расплава из трещины и его гидратации. Поэтому, структурные элементы земной коры, сложенные базальтовыми щелочными породами можно использовать для восстановления широты местности, где была сформирована литосферная плита, как доказательство миграции литосферной плиты и для восстановления палеогеодинамической обстановки.*

Положительные формы рельефа формируются также и на склонах СХ, характеризующихся интенсивной активностью под влиянием мантийной конвекции. Известно, что полное прекращение циркуляции океанических вод по коренным породам коры происходит примерно через 50 млн лет после образования коры в рифтовой зоне СХ [47]. Следовательно, через 50 млн лет



1– древние оси спрединга; 2 – контуры крупнейших впадин; 3 – линейные приразломные впадины, не связанные с островными дугами; 4 – вулканические хребты и крупные вулканические сооружения; 5 – подводные горы; 6 – океанические валы; 7 – глубоководные желоба; 8 – вулканические островные дуги; 9 – невулканические островные дуги; 10 – сейсмофокальные зоны; 11 – надвиги, шарьяжи; 12 – трансформные разрывы

Рисунок 2.27 – Фрагмент тектонической карты мира (Тихий океан у побережий Евразии и Северной Америки) [106]





формы рельефа, осложняющие склоны СХ, вследствие мантийной конвекции окажутся на океаническом дне – в абиссали, а еще через 50–110 млн лет – у континентальной окраины. Формы рельефа, осложняющие вулканическое дно, не являются вулканически активными, поскольку литосфера, перекрывающая остывающую мантию, становится более мощной, а по мере удаления от зоны разогрева, температуры, существующие в астеносфере и мантии, уже не могут способствовать расплавлению и раздвижению коры.

Материалом для формирования композиционной коры служит поглощаемая в зоне субдукции мантийная кора с выступающими над ней положительными формами рельефа, сформированными в зоне спрединга. При наращивании континентальной окраины продуктами переработки и фрагментами мантийной коры возраст вновь образованных пород будет соответствовать времени гидратации пород в период их формирования в океане. Исходными посылками для этого предположения являются основы теории тектоники плит и материалы изучения океанического дна [47; 89]:

- *если конвектирующая мантия кристаллизуется в рифтовой зоне, то происходят гидратация мантийных пород и их обогащение щелочами и другими растворенными элементами, в том числе калием, ураном и торием;*

- *с удалением от СХ возраст пород (по нашим представлениям возраст пород коры мантии), слагающих океаническое дно, становится более древним, поскольку они сформированы раньше;*

- *у внутриплитного шельфа возраст пород, слагающих кору мантии, соответствует времени раскола литосферной плиты и формирования рифта СХ;*

- *на базальтах океанического дна залегают осадки более молодые, чем подстилающие их породы, причем возраст осадочных пород определяется по содержащимся в них окаменелостям [37].*

В таблице 1.2 перечислены причины, оказывающие влияние на возраст положительных форм рельефа и осадков, выпадающих на океаническое дно.

### **1.4.3 Формирование островодужных бассейнов**

Гипотезы, рассмотренные в таблице 1.1, содержат очень ценные идеи, которые после соответствующих поправок, использованы нами в модели [108,109], приведенной в таблице 1.3. Окраинные моря и островные дуги, отделяющие их от океана, формируются на конвергентной границе. Место заложения зоны субдукции соответствует совпадению погружаемых конвективных потоков астеносферы и мантии. А время начала погружения зависит от охлаждения конвектирующей мантии. После заложения зоны субдукции, создается впечатление, что желоб мигрирует.

Таблица 1.2 – Значение возраста положительных форм рельефа и осадков океанического дна для формирования композиционной коры

| Положительные формы рельефа океанического дна                              | Причины образования рельефа                                                                     | Условия, оказывающие влияние на возраст пород                                                                                                              | Значение положительных форм рельефа для наращивания композиционной коры                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                          | 2                                                                                               | 3                                                                                                                                                          | 4                                                                                                                                                                               |
| СХ                                                                         | Интенсивная конвекция мантии и формирование мантийной коры в зазоре между расходящимися плитами | Гидротермальная циркуляция в новообразованных породах мантийной коры способствует «заражению» радиоактивными элементами, содержащимися в океанической воде | Исходное вещество для переработки в зоне субдукции и формирования многих положительных форм рельефа океанического дна, служащих материалом для формирования композиционной коры |
| Черные и белые курильщики                                                  | Интенсивная конвекция оказывает влияние на формирование гидротермальных источников              |                                                                                                                                                            | Исходное рудное вещество                                                                                                                                                        |
| Гийоты, атоллы                                                             | Рифовые постройки на склонах СХ, в зонах трансформных разломов                                  | Океанический бассейн над склонами СХ                                                                                                                       | Аллохтонные блоки, переносимые плитой, являются будущим основанием для формирования энсиматических островных дуг                                                                |
| Вулканические постройки с щелочным базальтовым вулканизмом «горячие точки» | Раскол литосферной плиты при смене широты местности                                             | <i>Только при раскалывании мантийной плиты.</i> Раскол литосферной плиты, внедрение щелочных базальтов и «заражению» их радиоактивными элементами          | Аллохтонные блоки, переносимые плитой, являются основанием для формирования островных дуг                                                                                       |
| Океанические плато                                                         | Нет единого мнения                                                                              | Соответствует времени формирования пород, слагающих блок, но отличается от пород, слагающих окружающую область литосферной плиты                           | Аллохтонные блоки, переносимые плитой. В зоне субдукции могут быть надвинуты, на окраину континента                                                                             |
| Океанические валы                                                          | Результат изгиба мантийной коры, упирающейся в композиционную                                   | Соответствует возрасту коры, из которой он сформирован                                                                                                     | Отражают напряжения сжатия в земной коре, являются предвестниками формирования зоны субдукции                                                                                   |

На поверхности это выражается расположением зоны субдукции перед островной дугой, затем между островной дугой и окраиной континента. После закрытия окраинного моря и причленения островной дуги к окраине континента конвергентная граница литосферной плиты совпадет с окраиной композиционной коры. *Конвергентные границы плит можно охарактеризовать процессами сжатия и растяжения, происходящими в коре.*

Процесс сжатия характеризуется развитием всевозможных пластических деформаций, если породы обладают пластичными свойствами (без жестких связей, слаболитифицированные), с растяжением и раскалыванием литосферных пластин, если породы жесткие и хрупкие (обладают кристаллическими связями). Но деформации происходят только в верхней части литосферы, т.е. в земной коре.

Рассмотрим причины возникновения растяжения коры в задуговом бассейне. Принято считать, что **спрединговое море** – это окраинный бассейн, в котором проявляются процессы растяжения дна за счет миграции островной дуги в сторону океана. *Но островные дуги – это блоки, выступающие над поверхностью субдуцируемой плиты, и они не могут растягивать дно, но зато они могут срезаться нависающей плитой от мантийной коры в зоне субдукции и сформировать острова, а позже надвинуться на формируемую активную окраину мантийно-композиционной плиты.*

Физическая суть формирования окраинного бассейна заключается в следующем: окраинные моря и островные дуги, отделяющие их от океана, формируются в зоне субдукции, развивающейся под влиянием нисходящего мантийного потока.

*Субдукция сопровождается изгибанием литосферной плиты, а изгиб на выпуклой стороне характеризуется формированием зон растяжения во внешней зоне. Но с глубиной трещины растяжения не расширяются, а закрываются, поэтому разрыва плиты до самой мантии не происходит, в лучшем случае нарушение сплошности пород верхней части литосферной плиты может привести к откалыванию блоков. Условия растяжения в зоне субдукции создаются на изгибе субдуцируемой плиты и нависающей плите. В последней трещины формируются за счет ее неравномерного поднятия субдуцируемой плитой. Это выражается в развитии грабеново-горстового рельефа. Такое явление ошибочно принимается за процесс спрединга дна окраинного моря.*

Кроме того, за дугой спрединг проявляться не может по следующим причинам: во-первых, процесс спрединга обусловлен влиянием восходящих мантийных потоков, а субдукция развивается под влиянием нисходящего мантийного потока. Во-вторых, в задуговом бассейне не может формироваться «плюм», поскольку мантия находится в состоянии постоянной конвекции, т.е. вещество в ней перемешивается. В-третьих, ни в мантии, ни в астеносфере магматических очагов не может быть, поскольку породы, слагающие мантию и

Таблица 1. 3 – Условия формирования островодужных бассейнов [85; 108-109]

| Стадия. Характерный процесс                                                                                                                                                      | Механизм развития энсиматических и энсиалических островных дуг                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Механизм развития окраинных морей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>Ранняя.</b><br/>Формирование задугового бассейна. Продвижение субдуцируемой плиты под островодужными блоками</p>                                                           | <p><b>Энсиалические острова</b> формируются в раннюю стадию заложения зоны субдукции. Это связано с совпадением погружающихся конвективных ячеек астеносферы и мантии. Заложение зоны субдукции сопровождается смятием коры в надсубдукционной плите и отделением осадочного слоя от мантийной коры.</p> <p><b>Энсиматические острова.</b> Если на субдуцируемой плите имеются крупные выступающие блоки, которые не могут быть затянуты в желоб или надвинуты на окраину континента, они «срезаются» надвигаемой плитой и отделяются от субдуцируемой плиты, образуя энсиматические острова</p> | <p>Мантийная кора проскальзывает под отчлененными блоками. Это подтверждается наличием зоны ВЗБ. В задуговом бассейне повышается значение теплового потока. Нависающая плита раскалывается на блоки, формируя сбросы и взбросы. Это создает сходство с рифтовой зоной.</p> <p>Для этого периода характерно наличие двух желобов: один перед островным блоком, другой в задуговом бассейне, его положение соответствует погружению литосферной плиты. В бассейне создаются условия для формирования терригенных, терригенно-карбонатных формаций</p>                                     |
| <p><b>Зрелая.</b> Активизация задугового бассейна. Разогрев гидратированных пород, затягиваемых в желоб, и расплавление пелагических осадков формирование вулканической дуги</p> | <p>Движение плиты приводит к разогреву Лавы имеют андезитовый состав. Прекращение островодужного вулканизма происходит почти одновременно с исчезновением желоба со стороны океана</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>Желоб в задуговом бассейне соответствует погружающейся плите. Постепенно погружаясь, кора расплавляется. Это приводит к формированию небольших магматических очагов сначала основного, затем ультраосновного состава. Образовавшийся магматический расплав проникает между блоками, разбивающими дно окраинного бассейна. Это явление принимается за формирование срединноморского хребта, аналогичного СХ. Но в отличие от СХ, здесь происходит не горизонтальное растяжение, приводящее к разрыву плиты, а растяжение коры в вертикальном направлении – за счет неравномерного</p> |

Продолжение таблицы 1.3

| 1                                                                                                                           | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | поднятия блоков коры над погружающейся плитой. Для этой стадии развития характерны базальтово-кремнистая и базальтово-карбонатная формации. Породы, образованные на этой стадии, при закрытии бассейна подвергаются пликтивно – дизъюнктивным дислокациям |
| <b>Поздняя.</b><br>Закрытие краевого бассейна. Прекращение островодужного вулканизма.                                       | Литосферная плита с «припаянной» к ней уже не функционирующей вулканической дугой придвигается к окраине континента (к другой островной дуге, шельфу)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | На дне окраинного моря в это время происходит аккумуляция терригенно-кремнистой и терригенно-карбонатной формаций. Часть осадков затягивается в желоб, а другая часть подвергается диагенезу                                                              |
| <b>Заключительная</b>                                                                                                       | Закрытие окраинного моря. Смятие пород мантийной коры и перекрывающих ее осадков, развитых в задуговом бассейне. Надвигание коровых пластин, сформированных в окраинных морях в позднюю стадию развития задугового бассейна, и фрагментов островных дуг на формирующуюся окраину континента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Обстановка на окраине надсубдукционной литосферной плиты, постепенно превращающейся во внутриконтинентальный бассейн</b> | Магматизм проявляется на окраине литосферной плиты (зона шельфа). Магматизм становится более кислым, поскольку на формирование магмы оказывают влияние осадки окраинного моря, сформированные в позднюю стадию развития бассейна. Осадки, подвергшиеся диагенезу, в виде пластин надвигаются либо на окраину континента, либо на островную дугу, формируя гравитационные складки. Пластины и блоки, надвинувшиеся на шельфовую зону ранее, под давлением вновь прилегающих блоков будут смещаться все дальше, вглубь формирующегося континента. При этом блоки и пластины могут испытывать разнообразное вращение, опрокидывание, надвигание, сдвигание. Движение блоков и пластин во внутриконтинентальной обстановке, по мере удаления активной окраины континента в сторону океана, все более затруднено и замедлено. Разгрузка напряжений от давления сдвигающихся блоков происходит в виде землетрясений. Поэтому внешние границы блоков (пластин) и нижняя граница блоков (литосферных пластин) являются наиболее вероятными сейсмоопасными зонами |                                                                                                                                                                                                                                                           |



астеносферу сухие. Т.е. при существующих в мантии и астеносфере температуре и давлении породы не могут плавиться [47]. Очаги в мантии формируются только в рифтовой зоне СХ, а очаги повторного плавления мантийных гидратированных пород – только на поверхности субдуцируемой мантийной плиты. Образующаяся трещиноватая зона проницаема для магматических расплавов, формируемых за счет плавления поверхности погружающейся мантийной плиты. Поскольку породы мантийной коры гидратированы, на их частичное расплавление требуется температура около 700-800<sup>0</sup>С [47], что значительно ниже температуры мантии. Формирующийся на поверхности погружающейся плиты магматический расплав проникает по ослабленным зонам между блоками и «залечивает» их ультраосновными породами, формируя на дне окраинного моря структуры, подобные рифтам СХ. Эти структуры окраинных морей, находящихся в активной стадии развития, можно назвать **псевдоспрединговым хребтом (ПСХ)**. *Необходимо обратить внимание на следующее обстоятельство: если субдуцируемая мантийная плита не несет выступающие блоки, окраинные моря не формируются, поскольку над океаническим дном нет поднятий, являющихся границей между континентом и океаном.*

Погружение плиты способствует формированию надсубдукционного грабеново-горстового рельефа – псевдорифта на погружающейся мантийной коре, и на нависающей плите. ПСХ не видны в окраинных морях, т.к. скрыты под толщей терригенных осадков – они угадываются по зонам выделения тепла. Установлено [47], что трение литосферных плит в зонах их поддвига сопровождается выделением тепла в количестве около 500-700 кал на 1 г пород океанической коры. В зрелую стадию развития в окраинном море в первую очередь образуются магматические очаги основного состава, а при дальнейшем погружении плиты за счет дегидратации и расплавления серпентинитов произойдет внедрение магмы ультраосновного состава (гарцбургитов).

**Образование энсиматических дуг.** Энсиматические острова – это срезанные нависающей плитой с пододвигаемой плиты и не затянутые в глубоководный желоб положительные формы рельефа океанического дна. Когда окраина мантийной плиты с выступающим блоком (положительная форма рельефа океанического дна) начнет затягиваться в зону субдукции, события могут развиваться по-разному. Если выступы мелкие, или плита покрыта только осадочными отложениями, в глубоководном желобе формируется меланж. Начальная стадия развития процесса субдукции характеризуется медленной скоростью движения субдуцируемой плиты, поэтому осадки, слагающие океаническое дно, будут сминаться в складки, претерпевая слабую степень метаморфизма и образуя метаморфизованные толщи, которые также нарастят активизирующуюся окраину мантийно-композиционной плиты.

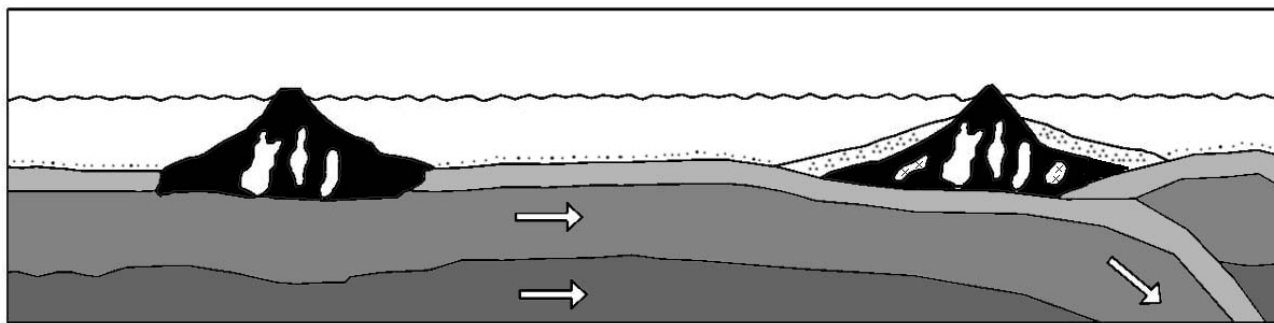
На приокеанических склонах желобов осадочный чехол и кора разбиты субвертикальными продольными разломами, это означает растяжение коры в результате изгиба плиты. Трещины растяжения создают поверхности ослабления, по которым может произойти отделение от плиты выступающих

фрагментов (блоков) океанического дна. Имея размер в десятки километров, блоки не могут быть затянуты в глубоководный желоб. Они срезаются нависающей плитой. Субдуцируемая плита, с которой они были срезаны, продвигается под ними, а они немного смещаются навстречу движению субдуцируемой под ними плиты. Отчлененные от плиты блоки коры формируют отгороженные от океана окраинные моря (рисунок 1.32). Трение между пластинами субдуцируемой плиты и отчлененным блоком способствует разогреву и переплавлению пелагических осадков, затягиваемых в желоб, и развитию магматизма среднего-кислого состава. Если блоки достигают сотен километров, они надвигаются на окраину плиты, под которую происходит субдукция, или придвигаются к ней. Возраст блоков соответствует времени формирования фрагмента этого структурного элемента, а возраст осадков, покрывающих его, – времени нахождения блока на океаническом дне (рисунок 1.33).

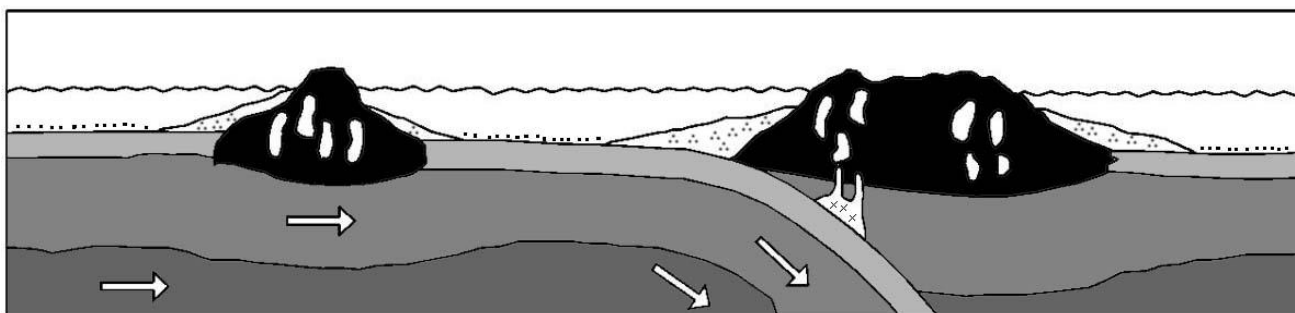
**Образование энсиалических дуг.** Энсиалические блоки формируются на пассивной окраине плиты, где вблизи континента формируется шельфовая зона и происходит аккумуляция мощной терригенно-осадочной толщи. Процесс субдукции сопровождается формированием кварц-кератофировой формации в надсубдукционной плите и ее раскалыванием вследствие неравномерного поднятия. От ее верхней части отделяются блоки коры (микроконтиненты) [47; 26; 60]. Отколовшиеся блоки не затянуты в желоб и формируют энсиалические острова. Уточним условия формирования энсиалических блоков. Энсиалические блоки откалываются от окраины плиты, представленной шельфом, во время субдукции мантийной плиты. В этот период субдуцируемая плита затягивается под нависающую плиту под пологим углом, поэтому желоб может быть не четко выраженным. Субдукция сопровождается смятием в складки осадочных пород, перекрывающих нависающую плиту. Блоки, отделившиеся от нависающей плиты формируют островную дугу, отгораживающую континентальный выступ с частью океанического бассейна – окраинным морем от океана. Продвигающаяся под блоками плита разогревается, осадочные породы, затягиваемые под отчлененные блоки, расплавляются, формируя магмы кислого и среднего состава. Магмы основного состава образуются из пород коры мантии, слагающих поверхность субдуцируемой мантийной плиты.

Расплавы внедряются по трещинам, возникшим в нависающей плите. Совпадение охлажденных конвективных ветвей мантии и астеносферы приводит к формированию желоба в задуговом бассейне. Аккумулирующиеся на дне окраинного моря терригенно-осадочные толщи затягиваются в желоб. Это приводит к фазовому внедрению интрузий.

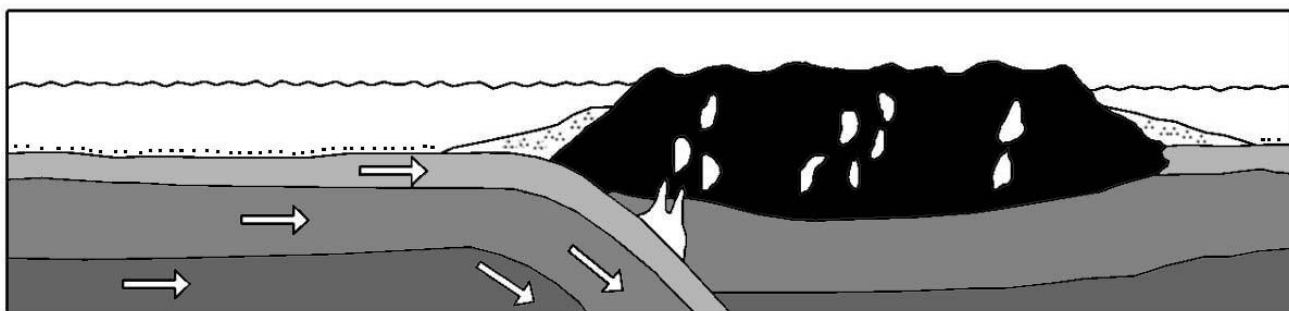
**Модель образования остаточных островных дуг.** Остаточные дуги располагаются в задуговом бассейне. Мы предполагаем возможные варианты их возникновения: 1) При откалывании блоков коры от плиты, под которую происходит субдукция. Поскольку, они отделяются в последнюю очередь, поэтому остаются в задуговом бассейне. Их возраст соответствует возрасту пород, от которой откололся блок;



А



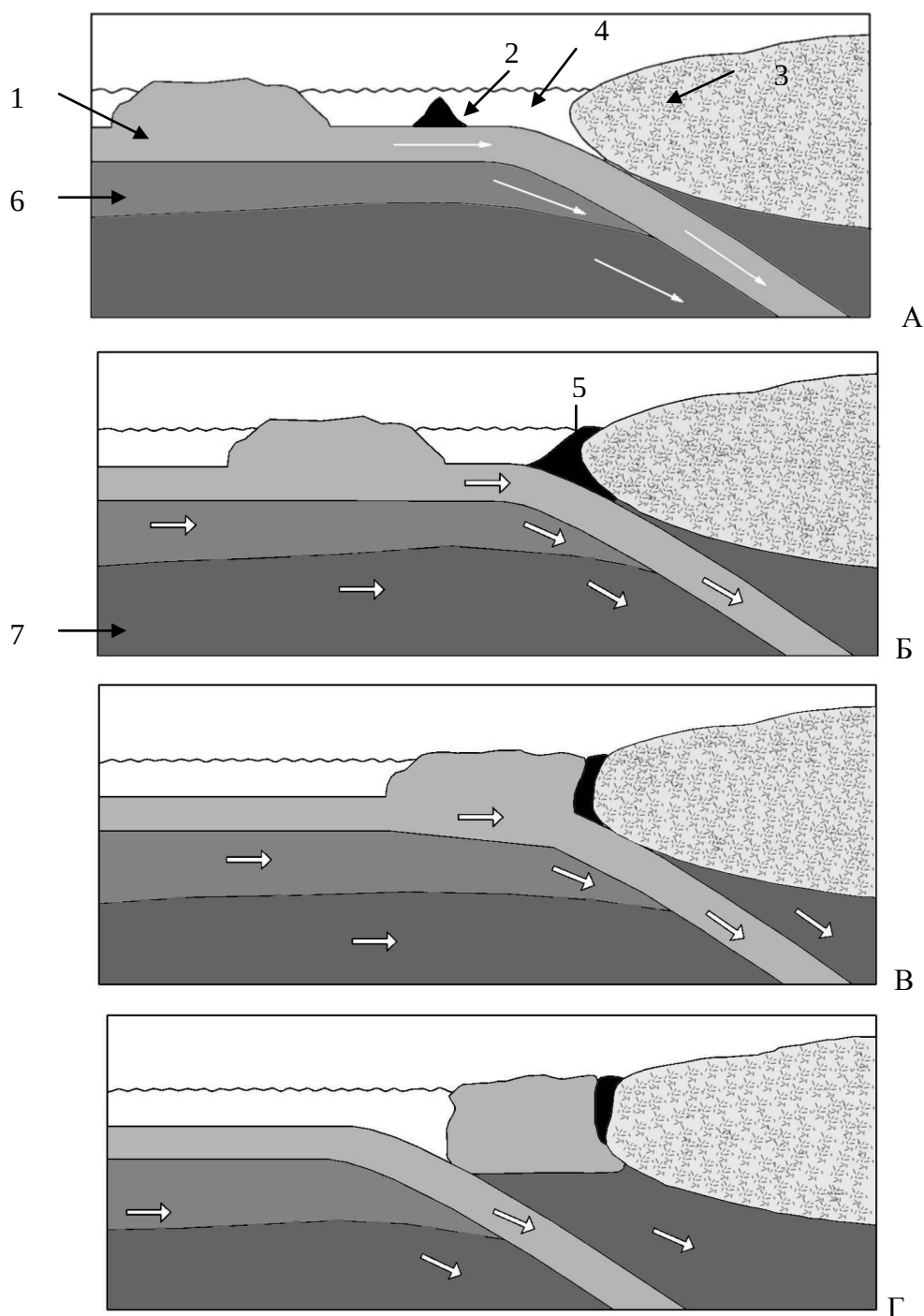
Б



В

А-формирование задугового бассейна; Б– формирование вулканической дуги и ПСХ; В – наращивание окраины континента фрагментами островной дуги и пластинами, сформированными в окраинном море. Стрелки означают движение литосферы, и конвективных потоков в астеносфере и мантии. Прерывистая линия означает постепенный переход из мантии в астеносферу

Рисунок 1.32 – Модель формирования островодужного бассейна



1– крупный блок; 2–подводная гора (мелкий блок); 3 –окраина континента; 4 – задуговой бассейн; 5 – деформированная подводная гора и деформированные пластины окраинного моря; 6 – астеносфера; 7 – мантия. Стрелками обозначено направление конвективного потока и движение литосферы. Прерывистая линия означает постепенный переход из мантии в астеносферу. А–формирование островодужного бассейна; Б – закрытие задугового бассейна между окраиной континента и подводной горой; В – закрытие задугового бассейна между окраиной континента и крупным блоком; Г– продолжение субдукции без формирования задугового бассейна

Рисунок 1.33 – Модель наращивания окраины континента крупным блоком, выступающим над мантийной корой

2) Блоки, откалываемые от субдуцируемой плиты, имеют различные форму и размеры: часть из них может возвышаться над водой, другая под уровнем моря и до поры до времени они являются не вулканическими, поскольку их основание не прогрелось за счет трения. Возраст блоков соответствует времени гидратации пород.

**Причины видимой «миграции» желоба.** В начальную стадию отделения блоков от плиты зона поглощения (желоб) располагается со стороны океана, а нисходящая ветвь конвектирующей мантии – под отчлененным блоком. Поэтому создается видимость наличия желоба со стороны океана. Позже, когда блок, разогреваясь от трения, припаивается к продвигающейся под ним плите, положение желоба совпадает с нисходящей ветвью конвективного потока – в окраинном море, создается видимость «*перещелкивания*» (термин введен по Зоненшайном Л.П.) зоны субдукции.

*Предлагаемая модель формирования окраинных морей и островных дуг объясняет видимость «миграции» желоба и отрицает проявление задугового спрединга.*

### **1.5 Условия возникновения складчатости**

Образование складок свидетельствует о преобразовании нормально залегающих осадочных пород в складки. Складки имеют различные форму и интенсивность смятия. Смятие пород в складки зависит от наличия пород, которые могут испытывать пластические деформации и от динамического воздействия на эти породы. Такие условия создаются на конвергентных границах при закрытии задуговых и междуговых бассейнов. Поэтому отсутствие фрагментов складчатых комплексов в композиционной коре принимается за перерывы в складкообразовании, а на самом деле на конвергентной границе не было условий для формирования окраинных морей.

Процессы субдукции или коллизии не могут происходить одновременно в масштабах планеты – они проявляются только на конвергентных границах [85]. Площадь развития складчатой области зависит от состояния субдуцируемой плиты, типа плиты, под которую происходит субдукция, протяженности зоны субдукции, продолжительности процесса субдукции и механизма наращивания композиционной коры:

- если субдуцируемая плита имеет на своей поверхности небольшие энсиматические (или энсиалические) блоки, они отделяют океан от континента и формируется окраинное море. При закрытии окраинного моря породы, сформированные на его дне, испытывают пликативно-дизъюнктивные дислокации, но складки сильно отличаются по форме: породы, сформированные на ранней стадии развития окраинного моря, позднее подвергаются деформации и формируют изоклинальные складки или моноклинально залегающие пластины. Породы, сформированные на поздней стадии развития задугового бассейна, не литифицированные, но уже претерпевшие диагенез, на заключительной стадии существования окраинного моря испытывают слабые пликативные деформации, образуют пластины,

надвигающиеся на окраину континента или на островную дугу. Так проявится угловое несогласие;

- формирование композиционной коры происходит под влиянием мантийной конвекции, проявляющейся на двух уровнях: плитном и коровом. Она способствует смещению пластин и блоков и надвиганию их на другие пластины и блоки. Надвигаемые пластины формируют угловое несогласие с нижележащими отложениями. Нижележащие отложения не обязательно могут быть более древними, чем надвинувшиеся на них;

- если субдуцируемая плита не имеет выступающих блоков, окраинное море не формируется и складчатость на этом участке не проявляется. Породы, затягиваемые в желоб, после переработки наращивают окраину континента в виде магматических образований;

- если субдуцируемая плита имеет на своей поверхности большой блок, надвигающийся на окраину континента, складчатость и магматизм тоже не проявляются. Такие участки, отличаясь от окружающей территории строением и возрастом, создают видимость древней складчатости, которая, как предполагают некоторые исследователи, произошла в древности на территории данного региона и обнажилась в эрозионных останцах за счет вертикальных движений земной коры;

- если окраина плиты длительное время сохраняет свою активность, происходит постоянное наращивание композиционной коры продуктами переработки коры мантии и осадков, затягиваемых в желоб, и это приводит к формированию протяженного складчатого пояса;

- мантийная и мантийно-композиционная литосфера формируются непрерывно под влиянием мантийной конвекции.

*Складкообразование в отдельных регионах, с позиций геосинклинальной теории, характеризуется проявлением в определенные моменты исторического развития, а с позиций тектоники плит это доказывает локальное проявление складкообразования на активных окраинах континентов при определенной геодинамической обстановке и соответствующих условиях: наличия задуговых и междуговых бассейнов.*

## **1.6 Значение местных стратиграфических подразделений**

Одним из главнейших принципов стратиграфии является принцип Стено Н. — выяснение последовательности смены ассоциаций горных пород по вертикали во времени. Выявление латеральных связей между различными комплексами отсутствовало или упрощалось. В итоге это привело к созданию местных стратиграфических подразделений. Стратиграфические границы соответствовали либо уровням изменения вещественного состава пород, либо стратиграфическим перерывам и несогласиям, либо смене ассоциаций остатков организмов. В состав местных подразделений введены понятия **свита, серия, комплекс**.

С позиций геосинклинальной гипотезы, в основе которой лежат колебательные движения земной коры, выделяемые подразделения не вызывают особых сомнений: мощные толщи осадков, формирующиеся в прогибах, перерывы в осадконакоплении, ритмичность толщ и т.д.

С прогибами связывалась аккумуляция мощных толщ осадочных и осадочно-вулканогенных отложений, мощность которых, по мнению сторонников геосинклинальной гипотезы, со временем увеличивалась. Поскольку литосферная оболочка залегает на каменном мантийном веществе, она не может прогибаться. Наличие «прогибов» – морфологических объектов, можно объяснить следующим образом. Формирование композиционной коры сопровождается изгибом (образование вогнутостей и выпуклостей) литосферных пластин, сложенных породами, обладающими пластичными свойствами. Но понижения образуются не за счет вдавливания блоков земной коры в мантию, а вздыманием изгибающихся пластин [85]. Создаваемые понижения формируют отрицательные формы, которые принято называть впадинами, прогибами, депрессиями.

*Процесс сдвижения литосферных пластин, приводит к формированию «тектонических окон» [95], которые в дальнейшем могут заполниться водой и превратиться во внутриконтинентальные озерные котловин, а также к нагромождению пластин и увеличению мощности осадочных толщ.*

Геодинамика мантии формирует тектоническую обстановку и это способствует созданию положительных и отрицательных форм рельефа. *Неровности рельефа* не могут формироваться за счет прогибания земной коры в мантию, поскольку мантия – твердое вещество, находящееся в условиях петростатического давления. Любые перестройки в коре, вызванные перемещением конвектирующей мантии, приводят к сдвигению литосферных пластин и блоков, слагающих верхнюю часть литосферных плит – кору. За счет надвигания одних блоков или пластин на другие и дальнейшего гравитационного смещения в сторону открытого пространства, т.е. пространства, не занятого породами. Формирование взбросов происходит в том случае, если надвигается блок или пластина при тектонических перестройках композиционной коры, обусловленных давлением вновь причленяемых блоков со стороны активной окраины. Литосферные пластины слаболитифицированных пород, надвигающиеся на окраину континента или островной дуги, формируют гравитационные складки, которые облекают неровности рельефа, создавая угловое несогласие. Процесс сдвижения литосферных пластин, приводит к их нагромождению и увеличению мощности осадочных толщ.

По оценкам А. П. Лисицина средняя мощность осадков, формирующихся в океане, около 0,5 км, а в районах крупных речных дельт она возрастает до 10-12 км [30]. Но, максимальная глубина Марианской впадины достигает 11023 м, а она, как известно, так и не засыпана осадками. Мощность осадочного слоя возрастает от гребней СХ к окраинам континентов.

Средняя глубина океана - 4,42 км, средняя глубина морей – -3,88 км. Как видно из приводимых цифр, в океанах и тем более в морях нет условий для аккумуляции осадков мощностью 10-12 км.

Видимо, сведения о мощности осадков получены геофизическими методами, поскольку таких глубоких скважин нет даже на континенте, поэтому эти цифры могут быть ошибочны.

Исходя из того, что мощность осадков, сформированных в океанических впадинах, не может превышать глубину бассейна в 2-3 и более раз, мы предполагаем, что мощности древних осадочных и метаморфических толщ, выделяемые в свиты, серии, комплексы увеличены за счет сдвижения литосферных пластин в период формирования композиционной коры. И эти толщи требуют дополнительного изучения. В результате могут быть выделены скрытые поверхности несогласий, определено положение поднадвиговых зон со скрытыми в них месторождениями полезных ископаемых. Чтобы сделать окончательный вывод, необходимо выполнить анализ толщ в каждом конкретном регионе для каждого отдельно взятого блока.

*Поскольку традиционно применяемые в стратиграфии структурно-тектонический и сравнительно-петрографический методы не могут дать однозначного вывода о возрасте пород, следовательно, при переинтерпретации метаморфических комплексов и пород других формаций необходимо также дополнить эти методы геодинамическим анализом.* Геодинамический анализ, установление последовательности формирования композиционной коры, состоящей из литосферных пластин, дают возможность предположить строение толщ, залегающих ниже современного уровня денудации.

Рассмотрим выделяемые местные стратиграфические подразделения и возможность использования их при переинтерпретации геологических материалов с позиций тектоники плит для определения скрытых надвиговых зон (таблица 1.4).

Ошибочность представлений о том, что под молодыми породами обязательно залегают более древние, исключается наличием тектонических покровов и надвигов. Особенно сложным является вопрос о возрасте метаморфических пород, которые из-за отсутствия органических остатков и на основании метаморфизма относят к различным по возрасту докембрийским толщам, причем одному и тому же массиву разные исследователи присваивают различный возраст. Основанием для этого является сходство массивов с соседним массивом, якобы имеющим доказанный возраст, основанный на перекрывающих и подстилающих фаунистически охарактеризованных отложениях. Однако, прежде чем ссылаться на соседний массив, надо разобраться геодинамическую обстановку условий его формирования. Определение возраста древних пород по перекрывающим или подстилающим фаунистически охарактеризованным толщам может привести к ошибкам, тем более что кровля практически всех изученных «допалеозойских» разрезов является поверхностью несогласия, которую в карбонатных, сульфатных и галоидных



Таблица 1.4– Переинтерпретация местных стратиграфических подразделений для выделения пластин [95]

| Местное стратиграфическое подразделение и его признаки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Признаки, используемые для переинтерпретации материала с позиций тектоники плит                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Свита</b> – совокупность отложений, развитых в пределах какого-либо геологического района в определенных физико-географических условиях, характеризующихся специфическими фациально-литологическими и палеонтологическими особенностями и занимающих определенное стратиграфическое положение в разрезе. Свита может состоять из однородных пород, прослоев или иметь пестрый состав. Она должна иметь устойчивые литологические и палеонтологические признаки на всей площади распространения и четкие границы. Возраст свиты устанавливается по палеонтологическим признакам</p> | <p>Границы свит с вышележащими и нижележащими толщами могут являться границами литосферных пластин</p>                                                                                                                                         |
| <p><b>Серия</b> – мощная и сложная по составу толща горных пород. Мощность серии – сотни метров и километры. Серия объединяет две и более свиты, охарактеризованные сходными условиями образования (континентальные, морские, вулканогенные), преобладанием определенных пород (осадочные, вулканогенные, метаморфические), особой структурой (ритмичность) и т.д. Серии распространяются на большой территории, разделены стратиграфическими или угловыми несогласиями, а иногда – интрузивной деятельностью</p>                                                                        | <p>Повторения ритмов – могут свидетельствовать о сдвигении тонких литосферных пластин. Следовательно, при изучении серий необходимо выделять отдельные ритмы. Сами по себе границы серий отражают вертикальные границы литосферных пластин</p> |
| <p><b>Комплекс</b> – объединяет две и больше серии. Мощная и сложная по составу и структуре совокупность геологических образований, отвечающая крупному тектоническому этапу геологического развития территории. Комплекс чаще используется для стратификации докембрийских образований. Мощность комплекса километры и более десятка километров. Комплекс может не иметь стратотипа</p>                                                                                                                                                                                                 | <p>Первоначально разделение на отдельные серии, серий – на свиты. Выделение в каждой серии и свите литосферных пластин</p>                                                                                                                     |

отложениях определить невозможно в силу «мягкости» минерального вещества, из которого состоит порода.

Поскольку традиционно применяемые в стратиграфии структурно-тектонический и сравнительно-петрографический методы не могут дать однозначного вывода о возрасте пород, следовательно, при переинтерпретации метаморфических комплексов и пород других формаций необходимо дополнить эти методы геодинамическим анализом. На наш взгляд, причинами, по которым не всегда могут быть обнаружены органические остатки, являются фациальные, геодинамические и геотектонические условия. Поэтому необходимо при проведении анализа последовательно определить фациальные условия образования пород, их формационную принадлежность, геодинамические условия, способствовавшие развитию тектоники того или иного региона [85]. Геодинамический анализ, установление последовательности формирования композиционной коры, состоящей из литосферных пластин, дают возможность предположить строение толщ, залегающих ниже современного уровня денудации.

### **1.7 Время формирования композиционной коры**

Для определения времени формирования композиционной коры необходимо уточнить условия образования формаций с позиций теории тектоники плит.

Из геодинамического анализа условий образования формаций [26], следует, что для зон расхождения, схождения и сдвижения литосферных плит характерен определенный набор формаций, по которым можно различить стадию развития процесса и структурный элемент земной коры. В состав формаций входят различные по генезису породы, слагающие определенные структурные элементы земной коры.

Уточненная нами теоретическая концепция и предлагаемая выше модель преобразования пассивной окраины плиты в активную позволяют пересмотреть принадлежность некоторых геологических формаций, выделенных А.А. Ковалевым [27]. В классификации, которого учтены три вида геодинамического режима на уровне плит. Но эта классификация не учитывает верхний уровень, где и происходит формирование композиционной коры. Например, окраинные моря формируются в зонах погружения конвектирующей мантии, несущей кору мантии и литифицированные осадки под окраину другой плиты. Окраинные моря должны быть отнесены к обстановке, характеризующейся схождением плит, но поскольку процесс разрыва коры прежними исследователями принимался за процесс разрыва литосферы, А.А. Ковалевым эти моря отнесены к зонам расхождения плит.

Не все выделяемые рифтовые зоны относятся к зонам раздвижения плит. Структуры, имеющие такое строение, вполне могут быть сформированы либо за счет раскола сферического сегмента литосферной оболочки при перемещении плиты в меридиональном направлении из одной широты в

другую, либо за счет неравномерного растяжения коры при изгибе литосферных плит, пластин и блоков. Эти структуры формируются только в коре в отличие от рифтов и зон раскола, образуют оползневые структуры, выражающиеся в появлении грабенов и горстов за счет гравитационного смещения одних блоков коры относительно других или за счет надвигания одних блоков на другие. В любом случае происходит оползание блоков за счет перераспределения напряжений в земной коре [85].

Пассивные окраины континентов, дно абиссальных впадин с зонами внутриплитной активизации, внутриконтинентальные области, на наш взгляд, являются внутренними частями мантийно-композиционных плит и относятся к стабильным и относительно стабильным обстановкам.

В таблице 1.5 обозначены геодинамические обстановки формирования земной коры, выделяемые А.А. Ковалевым [27]: зоны расхождения, схождения, скольжения литосферных плит, а также стабильные и относительно стабильные обстановки. На основании усовершенствованной концепции формирования земной коры, были пересмотрены условия образования некоторых классификаций геологических формаций – индикаторов геодинамических обстановок, выделяемых А.А.Ковалевым [27], эти изменения учтены и для сравнения приведены в таблице 1.5.

### **1.7.1 Возраст пород и время формирования композиционной коры**

Вопросы об ошибочности определения возраста пород неоднократно рассматривались в различных публикациях [110-116], но никогда не поднимался вопрос о том, в чем разница между понятиями «возраст пород» и «время формирования коры, слагающей континенты» [117-121]. Выясним разницу между возрастом пород и временем формирования композиционной коры. Процесс рециклинга осадков позволяет объяснить значительный разброс в радиометрических данных следующим образом: в зону субдукции вполне могут быть затянуты терригенные осадки, содержащие продукты разрушения различных по возрасту пород. В качестве современного аналога можно представить отложения конусов выноса дельт, состоящие из пород различного возраста и литолого-петрографического состава.

После преобразования в зоне субдукции из них сформируются новые породы, в состав которых войдут радиоактивные минералы, входившие в состав исходных пород. На геологических картах, изображают возраст горных пород, определенный радиогеохронологическими или геологическими методами. Применяемый в геологии метод аналогий для определения возраста метаморфических и других пород, основан на сходстве по степени метаморфизма, вещественного состава, структурно-текстурных особенностей. Породы, изученные в одном районе, имеющие доказанный возраст, сопоставляют с аналогичными породами, распространенными в другом районе, не имеющими доказанного возраста. Ошибка заключается в том, что исходные породы могли быть аналогичны по составу, условиям образования и преобразования, но при этом отличаться по возрасту [85].

Таблица 1.5 – Геодинамические обстановки формирования земной коры

| По представлениям А.А.Ковалева                                | По представлениям автора                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Зоны расхождения плит</b>                                  |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Срединно-океанические хребты (СОХ)                            | СХ                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Спрединовые окраинные моря                                    |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Пассивные окраины континентов                                 |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Авлакогены                                                    | Авлакогены                                                                                                                                                                                                                                         |
| Межматериковые рифты                                          | Межматериковые рифты                                                                                                                                                                                                                               |
| Рифтовые зоны континентов                                     | Рифтовые зоны континентов                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Зоны схождения плит</b>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Глубоководные желоба                                          | Глубоководные желоба                                                                                                                                                                                                                               |
| Островные дуги (энсиматические)                               | Островные дуги (энсиматические)                                                                                                                                                                                                                    |
| Микроконтиненты (энсиалические островные дуги)                | Островные дуги (энсиалические)                                                                                                                                                                                                                     |
| Активные окраины континентов (кордильерский и андийский типы) | Активные окраины литосферных плит: междугловые бассейны, задуговые бассейны с ПСХ. Активные окраины характеризуются увеличением площади композиционной коры за счет осадконакопления и процессов, сопровождающих коллизию, метаморфизм, магматизм. |
| Зоны сгущивания островной дуги с континентом                  |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Зоны столкновения микроконтинента с континентом               |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Зоны столкновения континентов (гималайский тип)               |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Зоны столкновения континентов (кавказский тип)                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Стабильные и относительно стабильные обстановки</b>        |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Абиссальные впадины                                           | Внутриплитные обстановки: континентальные выступы и их пассивные окраины – внутриплитные шельфы, абиссальные впадины с положительными формами рельефа различного генезиса (цепи вулканических островов и подводных гор, отдельные возвышенности).  |
| Отгороженные окраинные моря                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Платформы и щиты                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Цепи вулканических островов и подводных гор                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Зоны внутриплитной активизации («горячие точки»)              |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Астроблемы                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Зоны скольжения плит</b>                                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Разломы типа «рифт – рифт»                                    |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Разломы типа «рифт - зона субдукции»                          |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Разломы типа «зона субдукции - зона субдукции»                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Короткие системы спрединга (пул-апат-структуры)               | зоны ПСХ задуговых бассейнов                                                                                                                                                                                                                       |

Нередко на картах, составленных различными авторами, одни и те же массивы пород отличаются по возрасту. Вероятно, различия в результатах определения возраста можно объяснить тем, что карты составлялись представителями геосинклинальной школы, когда геологи даже не предполагали истинных причин образования многих магматических и метаморфических массивов.

При переинтерпретации геологических материалов для геодинамического и тектонического анализа, геологи по-прежнему, не различают понятия «возраст пород» и «время формирования композиционной коры», слагаемой этими породами. Считается, что формирование коры континента соответствует возрасту пород определенному методами абсолютной геохронологии. Но это приводит к значительным ошибкам при восстановлении последовательности событий [85].

Распутать этот узел можно, применив для объяснения механизм процесса субдукции. Установлено, что «медленная субдукция» [18; 42] благоприятна для образования интенсивной складчатости и метаморфизма терригенно-кремнистых пород, соскабливаемых с поглощаемой мантийной плиты. Так называемая «медленная субдукция» проявляется на стадии преобразования внутриплитного шельфа в активную окраину плиты, т.е. при образовании конвергентной границы [85].

По нашему мнению, используя знания о процессе субдукции, можно объяснить причины одревнения метаморфизованных толщ. Происхождение пород регионального метаморфизма с позиций теории тектоники плит объясняется различными геодинамическими обстановками, в которых преобразуются осадочные слои мантийной коры, затягиваемой в глубоководный желоб во время субдукции литосферной плиты.

Для восстановления истории развития описываемого региона необходимо выполнить ревизию возраста метаморфических массивов. Учитывая то, что определение абсолютного возраста древних толщ (по изотопам свинца в цирконах, уран-ториево-свинцовым, калий-аргоновым – по метаморфическим породам и др.) не дает точных значений, необходимо рассмотреть геодинамические условия преобразования исходных пород (таблица 1.6). Исходным веществом для формирования «кислых» и «средних» интрузий являются осадочные отложения: а) затягиваемые в желоб; б) сформированные в задуговом бассейне; в) сформированные на внутриплитном шельфе.

Если терригенные отложения содержат в своем составе обломки пород и минералов, имеющих древний радиогеохронологический возраст, то при попадании в зону субдукции эти минералы войдут в состав новообразованной породы. В этом случае определяется абсолютный возраст исходных минералов, а не структурных элементов земной коры. Породы мантийной коры, подвергаясь гидратации, одновременно, «заражаются» щелочами и другими элементами, в том числе калием, ураном и торием, содержащимися в океанической воде. Эти элементы оказывают влияние на возраст офиолитов [47]. Возраст пород, слагающих кору мантии, по мере удаления от СХ,

Таблица 1.6 – Геодинамические условия формирования горных пород

| Геодинамическая обстановка                |                                                                                                                                                                             | Главные разновидности пород                                                                   |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Класс                                     | Структурный элемент                                                                                                                                                         |                                                                                               |
| Зоны расхождения плит                     | Склоны СХ и коренное основание океанического ложа, сложенное мантийной корой                                                                                                | Магматические породы основного и ультраосновного состава                                      |
|                                           | ПСХ в окраинном море                                                                                                                                                        |                                                                                               |
|                                           | Зоны скупивания литосферных пластин, сформированных на дне задуговых бассейнов                                                                                              | Породы регионального метаморфизма: офиолиты, терригенно-карбонатные, метаморфизованные осадки |
|                                           | Склоны континентальных окраин, островных дуг. Задуговые и междуговые бассейны. Бассейны пассивных окраин мантийно-композиционных плит (соответствует внутриплитному шельфу) | Осадочные, вулканогенно-осадочные породы, пелагические осадки на мантийной коре               |
|                                           | Вулканические дуги. Задуговые бассейны. Окраина мантийно-композиционной плиты, в начальную стадию заложения зоны субдукции                                                  | Вулканогенно-осадочные породы                                                                 |
| Зоны схождения плит (сдвигание, коллизия) | Активные окраины мантийно-композиционных плит                                                                                                                               | Кислые, средние интрузии                                                                      |

становится более древним (рисунок 1.23).

Возраст самых древних пород коры мантии внутри плиты соответствует времени раскола литосферной плиты и формирования СХ.

Попадая в зону субдукции и подвергаясь переработке, породы коры мантии сформируют композиционную кору с возрастом пород на момент их гидратации в ПСХ. При закрытии задугового бассейна, породы, сформированные в ПСХ, нарастят окраину композиционной коры. Возраст этих пород будет вызывать споры: по геологическим данным он должен соответствовать времени формирования пород в задуговом бассейне, а по методу радиоактивной геохронологии – времени гидратации в СХ. Учитывая то, что гранитоиды образуются при затягивании осадочных пород в зону субдукции, где происходит их переплавление, и то, что ни температура, ни давление не оказывают влияния на процесс радиоактивного распада, мы приходим к следующему выводу: магматические породы, образовавшиеся за счет расплавления пелагических осадков, будут иметь возраст этих осадков. Например, если в зону субдукции, затянуты осадки, образовавшиеся в раннем ордовике, то магматические породы, образовавшиеся от расплавления пелагических осадков, имеют возраст – ранний-средний ордовик. Осадки, накопившиеся на литосферной плите в период раскола СХ, будут затянуты в

зону субдукции только через 150-160 млн лет, следовательно, их переплавление в зоне субдукции произойдет только в девоне – раннем карбоне. В этом случае нелитифицированные осадки, перекрывающие раннеордовикские толщи, будучи рыхлыми, затягиваются в желоб, являясь своеобразной смазкой для погружающейся плиты, а на определенных глубинах они преобразуются в метаморфические породы. При медленной субдукции, осадочные толщи могут образовать метаморфизованные толщи слабой степени метаморфизма перед глубоководным желобом. Возраст пород, слагающих новообразованные толщи, соответствует возрасту самых молодых осадков. Основываясь на доказательствах существования рециклинга осадочных пород, можно с уверенностью считать, что возраст вновь образованных пород, определенный методами абсолютной хронологии, соответствует времени образования исходного вещества. Осадки, слагающие верхнюю часть океанической литосферной плиты, являются исходным продуктом для образования средних и кислых магматических пород и пород регионального метаморфизма различных фаций [120]. Возраст вновь образованных пород соответствует времени образования исходного вещества. В таблице 1.7 приведены геодинамические условия образования композиционной коры за счет интрузий гранитоидов и пород регионального метаморфизма. Содержание графы «Исходное вещество, оказывающее влияние на результат определения абсолютного возраста» основано на доказательствах существования рециклинга осадочных пород.

### **1.7.2 Расчет времени формирования композиционной коры**

Определение времени формирования композиционной коры позволяет установить последовательность и механизм наращивания композиционной коры пластинами и блоками, сформированными в различных геодинамических обстановках, и построить геодинамическую карту изучаемого района.

Традиционно геологи оценивают возраст коры, слагающей континентальные выступы, либо геологическими методами, либо методами абсолютной геохронологии, поэтому на геологических картах возраст породных массивов соответствует времени образования пород. При геодинамическом анализе, для составления геодинамических карт не столь важны палинспастические реконструкции, опирающиеся на малонадежные палеомагнитные данные.

Более важным является установление времени и последовательности формирования композиционной коры. Для определения времени формирования композиционной коры необходимо:

- выполнить анализ геологических формаций;
- выяснить геодинамическую обстановку формирования изучаемого структурного элемента земной коры;
- выяснить время образования структурного элемента в исходной геодинамической обстановке.

Таблица 1.7– Геодинамические условия, оказывающие влияние на возраст пород магматических и метаморфических формаций

| Формация                                               | Геодинамическая обстановка | Место образования формации                           | Стадии развития структур           | Условия образования формации                                                                                                 | Исходное вещество, оказывающее влияние на результат определения абсолютного возраста                               |
|--------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                      | 2                          | 3                                                    | 4                                  | 5                                                                                                                            | 6                                                                                                                  |
| Известково-щелочные гранитоиды (гранодиориты, граниты) | Схождение плит             | Энсиалические островные дуги                         | Закрытия задугового бассейна       | Формирование магматических очагов, из переплавляемых осадков, затянутых в желоб. На поверхности погружающейся плиты          | Осадки окраинного моря (возраст осадков окраинного моря)                                                           |
|                                                        |                            | Активные окраины континентов кордильерского типа     |                                    | Окраина континента с мощной призмой терригенных осадков, затягиваемых в желоб. Характерна крутая зона субдукции              | Осадки континентального шельфа (возраст осадков окраинного моря)                                                   |
|                                                        |                            | Активные окраины континентов андийского типа         | Надвигание плиты на зону субдукции | Мощная континентальная кора. Высокая скорость субдукции. Пологий наклон зоны поддвижения. Надвиговый пояс передового прогиба | Пелагические осадки (возраст пелагических осадков, затягиваемых в желоб)                                           |
| Палингенная гранитная                                  |                            | Зона надвигания островной дуги на окраину континента | Закрытия задугового бассейна       | Под надвигаемой островной дугой (деформируемая островная дуга)                                                               | Осадки островной дуги (возраст вулканогенно-осадочных образований бассейна, прилегающего к островной дуге)         |
| Глаукофан-сланцевая                                    |                            | Глубоководный желоб                                  | Заложение и развитие               | Внутренняя стенка глубоководного желоба                                                                                      | Пелагические осадки (возраст осадков, слагающих флиш)                                                              |
|                                                        |                            | Между желобом и островной дугой                      | Начальная стадия заложения дуги    | Соскабливание с мантийной коры пелагических осадков и фрагментов коры                                                        | Пелагические осадки, ультраосновные породы (возраст осадков верхнего осадочного слоя, время образования коры в СХ) |



Продолжение таблицы 1.7

| 1                                                              | 2                                                  | 3                                                         | 4                                                                                | 5                                                              | 6                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Глаукофан-сланцевая                                            | Схождение плит                                     | Развитие дуги                                             | Подъем дуги и интрузивный магматизм                                              | Аккреционная призма                                            | Базальты (возраст соответствует времени образования коры в СХ)                                                |
|                                                                |                                                    |                                                           | Активная стадия задугового бассейна                                              | Новый глубоководный желоб (со стороны окраинного моря)         | Пелагические осадки (возраст осадков, слагающих флиш)                                                         |
|                                                                |                                                    | Активная окраина плиты, совпадающая с окраиной континента | Заложения желоба вблизи пассивной окраины континента                             | Континентальный склон                                          | Мантийная кора (возраст соответствует времени образования коры в СХ)                                          |
|                                                                |                                                    | Зоны столкновения островной дуги с континентом            | Закрытия окраинного моря                                                         | Офиолитовый шов                                                | Мантийная кора с осадочным слоем (возраст соответствует времени образования коры в СХ и пелагических осадков) |
| Ультрабазитовая, спилит - кератофировая (офиолитовый комплекс) | Обдукция литосферных пластин в зоне схождения плит | Зоны скучивания мантийной коры                            | Раскол дна спредингового моря и продвижение пластин океанической коры на окраину | Офиолитовый покров                                             | Возраст коры задугового бассейна                                                                              |
| Габбро-плагиогранитовая                                        | Субдукция мантийной плиты под мантийную плиту      | Зона субдукции                                            | Заложение зоны субдукции на мантийной коре                                       | Переплавление пелагических осадков и фрагментов мантийной коры | Возраст пелагических осадков и мантийной коры, сформированной в СХ                                            |

В построении композиционной коры принимают участие осадочные, магматические и метаморфические породы. Сформированные в различных геодинамических условиях, в одно время, породы одного генезиса, не всегда являются доказательством одновременности формирования композиционной коры [85]. Например, осадочные породы, образующиеся во внутриконтинентальном и океаническом бассейнах. Время формирования композиционной коры, слагаемой осадочными породами внутриконтинентального бассейна, соответствует времени формирования пород с поправкой на время литификации. Время наращивания композиционной коры осадочными породами, сформированными на океаническом дне, зависит от скорости субдукции: породы, отлагавшиеся на дне, начиная со времени раскола литосферной плиты, будут участвовать в формировании композиционной коры примерно через 160 млн лет. В это время пассивная внутриплитная обстановка преобразуется в активную окраину и заложится зона субдукции. От времени формирования в зоне спрединга до поглощения в зоне субдукции может постепенно сокращаться. Это зависит от геодинамической обстановки, возникшей на другой окраине плиты, например, плиты с композиционными выступами Северной и Южной Америк, надвигаются на зону спрединга, создавая видимость наличия глубоководного желоба на современных западных окраинах (Кордильеры и Анды), поскольку это зависит от условий охлаждения конвектирующей мантии и надвигания нависающей плиты. После проведенного формационного анализа необходимо выяснить генезис пород, условия и время их образования.

В таблице 1.8 предлагается методика расчета времени формирования композиционной коры, подтвержденной обстановками современных активных окраин: с удалением вглубь континента возраст причлененных блоков становится все более древним, а с удалением от береговой линии в сторону океана возраст мантийной коры становится все более молодым. Но самым главным моментом в этом анализе является выделение наиболее древних фаунистически охарактеризованных пород океанического бассейна.

Таблица 1.8 – Расчет времени формирования композиционной коры

| Генезис пород и условия их образования                                                             | Возраст исходных пород                                                           | Возраст пород и время формирования композиционной коры                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                  | 2                                                                                | 3                                                                                 |
| Магматические породы основного и ультраосновного состава, образованы в СХ и ПСХ                    | Соответствует времени гидратации исходных пород и переработанных в зоне ПСХ      | Є, О (– 160 млн лет)= S, D<br>S, D (–150 млн лет)=C, P<br>C,P (–120 млн лет)=P, J |
| Породы регионального метаморфизма: офиолиты, терригенно-карбонатные метаморфизованные осадки океа- | Соответствует времени гидратации мантийных пород и осадков, затягиваемых в желоб | Є, О (– 160 млн лет)= S, D<br>S, D (–150 млн лет)=C, P<br>C,P (–120 млн лет)=P, J |

Продолжение таблицы 1.8

| 1                                                                                             | 2                                                                                                       | 3                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| нического дна и др. исходные породы                                                           |                                                                                                         | стадию заложения зоны субдукции                                                                     |
| Породы регионального метаморфизма: гнейсы, сланцы                                             | Соответствует времени формирования исходных пород                                                       | Примерно соответствует возрасту пород, соскобленных с мантийной коры в начальную                    |
| Пелагические осадки, отложения внутриплитного шельфа, образовавшиеся со времени раскола плиты | Соответствует времени гидратации мантийных пород или возрасту органических остатков                     | Є, О (– 160 млн лет)= S, D<br>S, D (–150 млн лет)=C, P<br>C,P (–120 млн лет)=P, J                   |
| Осадочные породы в задуговых бассейнах                                                        | Соответствует времени осадконакопления. На датировку возраста могут оказать влияние терригенные примеси | Примерно соответствует возрасту осадочных пород, задугового бассейна                                |
| Вулканогенно-осадочные породы задуговых и междугловых бассейнов                               |                                                                                                         | Примерно соответствует возрасту осадочных пород, сформированных в задуговом бассейне                |
| Кислые интрузии                                                                               |                                                                                                         | Соответствуют возрасту осадочных пород, сформированных в раннюю стадию развития задугового бассейна |

## 1.8 Геодинамические и тектонические условия формирования месторождений полезных ископаемых

Возникновение месторождений полезных ископаемых обусловлено рядом обстоятельств, главными из которых являются особенности проявления геодинамических процессов. Проявление геодинамических процессов сопровождается изменением температуры, давления и, как следствие, вещественного состава. На границах плит, где развиваются геодинамические процессы, происходит формирование земной коры и выделение рудных компонентов, насыщающих минерализованные источники.

По мнению А.А. Ковалева [26; 27; 18], каждая геодинамическая обстановка (зоны спрединга, субдукции и трансформных разломов), характеризуется минералами-индикаторами, которые могут формироваться именно в этой обстановке. Для проверки этого предположения, нами построена матрица распределения полезных компонентов, формируемых в различных геодинамических обстановках (таблица 2.9). Это позволило проследить условия выделения рудных компонентов на активных окраинах плит: от первоначального выделения из мантии до стадии их преобразования в зоне субдукции.

А как следует из наблюдений (Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Зоненшайн Л.П. и др. исследователи) за процессом рудообразования в океанических бассейнах, давление, температура и способ выделения рудного вещества на границах плит одинаковые, различие же заключается в составе исходного

Таблица 1.9 – Геодинамическая обстановка и ступени формирования некоторых эндогенных месторождений полезных ископаемых (по материалам, опубликованным в работах [26; 27; 18])

| Геодинамическая обстановка (ступень формирования МПИ) | Cd | Al | P | Ti | V  | Cr      | Mn       | Fe            | Co            | Ni                | Cu                         | Zn             | Mo            | Ag                  | Sn      | Sb           | Ba | W        | Pt | Au                  | Hg      | Pb              | U         |
|-------------------------------------------------------|----|----|---|----|----|---------|----------|---------------|---------------|-------------------|----------------------------|----------------|---------------|---------------------|---------|--------------|----|----------|----|---------------------|---------|-----------------|-----------|
| 1                                                     | 2  | 3  | 4 | 5  | 6  | 7       | 8        | 9             | 10            | 11                | 12                         | 13             | 14            | 15                  | 16      | 17           | 18 | 19       | 20 | 21                  | 22      | 23              | 24        |
| СХ и абиссальные впадины (I)                          | 2б |    |   | 1  | 2в | 1<br>2в | 2а<br>34 | 2а<br>34      | 1<br>2в<br>34 | 1<br>2в<br>4<br>3 | 2а<br>б<br>34              | 2а<br>б<br>4   |               | 2б                  |         | 4            | 4  |          | 1  | 2б                  |         | 2а              | 1         |
| Межматериковый рифт (I)                               | 2а |    |   |    |    |         | 2а       | 2а            |               |                   | 2а                         | 2а             |               | 2а                  |         |              | 2а |          |    |                     |         | 2а              |           |
| Зоны скольжения плит (I)                              |    |    |   |    |    |         |          |               |               |                   | 2а                         | 2а             |               |                     |         |              |    |          |    |                     |         |                 |           |
| Псевдорифт окраинных морей (II)                       | 2а |    |   |    |    | 6       | 2а       | 2             | 2а            |                   | 2а                         | 2а             | 6<br>7        | 2<br>7              | 6<br>7  | 2<br>7       | 2а | 6<br>7   |    | 8                   | 2<br>7  | 2а<br>7         |           |
| Субдукционные обстановки (II)                         |    | 9  |   |    | 10 |         | 7        | 12<br>7<br>17 | 9             | 9                 | 11<br>14<br>15<br>16<br>17 | 16<br>7а<br>17 | 10<br>11<br>а | 14<br>16<br>11<br>а | 11<br>а | 7<br>11<br>а | 7а | 10<br>11 |    | 10<br>11<br>14<br>7 | 7<br>13 | 16<br>7а<br>11а | 10<br>11а |

Продолжение таблицы 1.9

| 1                                         | 2 | 3 | 4      | 5  | 6  | 7        | 8              | 9  | 10     | 11 | 12                   | 13       | 14       | 15 | 16 | 17 | 18 | 19       | 20 | 21                         | 22 | 23 | 24       |
|-------------------------------------------|---|---|--------|----|----|----------|----------------|----|--------|----|----------------------|----------|----------|----|----|----|----|----------|----|----------------------------|----|----|----------|
| Коллизионные обстановки (II)              |   |   |        |    | 10 | 20<br>21 | 19<br>20<br>21 |    | 9      | 9  | 19<br>20<br>11<br>21 | 20<br>21 | 10<br>11 | 19 | 21 | 7  |    | 10<br>21 |    | 10<br>18<br>19<br>11<br>21 | 7  | 19 | 10<br>11 |
| Внутри-плитный шельф (III)                |   |   | 2<br>4 | 23 | 23 | 23       |                |    |        |    |                      |          |          |    | 23 |    |    | 23       | 23 | 23                         |    |    |          |
| Стабильные обстановки континентов * (III) |   | 9 | 2<br>4 | 23 | 23 | 23       |                |    |        |    |                      |          |          |    | 23 |    |    | 23       | 23 | 23                         |    |    |          |
| Зоны раскола плит (I)                     |   |   |        |    |    |          | 1<br>3         | 3а | 1<br>3 |    |                      |          | 11       |    | 11 |    |    | 11       | 11 |                            |    |    |          |

Примечание: Цифрами обозначены условия образования, залегания, распространения рудного вещества. 1 – рудное вещество в исходной мантийной коре; 2 – металлоносные осадки: а – гидротермальные, б – окисные; 3 – железо-марганцевые конкреции; 4 – железо-марганцевые корки; 5 – рудное вещество, обнаруживаемое в пул-апарт структурах; 6 – ПСХ задугового бассейна (мантийное вещество, переработанное в зоне субдукции); 7– стратиформные; 8 – жиллообразные руды; 9 – латеритные; 10 – черносланцевые толщи; 11– магматические; 12 – эксгальационные; 13 – телетермальные; 14 – регенерированные; 15 – манто; 16 – метасоматически переработанные; 17 – скарноиды; 18 – метаморфизованные секреционные; 19 – на надвигаемой дуге; 20 – деформированная мантийная кора в шовной зоне (в зоне столкновения); 21 – грейзены; 22 – метаморфизованные толщи; 23 – россыпи; 24 – осадочные

вещества, из которого выделяются рудные компоненты, и причинах, обусловивших выделение рудных компонентов. *Рудные компоненты, выделяемые в зонах спрединговых и псевдоспрединговых хребтов, насыщают океанические воды и выпадают в осадок. Неравномерное размещение гидротермальных минерализованных источников, выделяющихся в зонах СХ и ПСХ, способствует неравномерному осаждению рудных компонентов, а температура, давление и состав исходного вещества обеспечивают их изменчивость. Только часть рудных компонентов, выделившихся из мантии на первом этапе, при определенном стечении обстоятельств, может сформировать месторождение.*

### **1.8.1 Выделение рудных компонентов в начальную стадию раскола плиты**

СХ представляют собой грабеново-горстовый рельеф. В период формирования зоны спрединга происходит интенсивное гидротермальное рудообразование [17;56; 24;25; 28; 30; 31; 18; 65; 122-141]. Как известно, одним из важнейших условий сохранности гидротермальных построек является гидродинамический режим, время до погребения и скорость перекрытия осадками. На сохранность также оказывают влияние сейсмичность. Поэтому наиболее благоприятны для сохранения руд зоны внутриплитного шельфа с остатками структур древнего СХ сформированные на начальной стадии раскола плиты.

Первичные руды, остаточных структур СХ, по аналогии с современными бассейнами рудообразования в зонах СХ, были представлены гидротермальными отложениями **черных и белых «курильщиков»**. Позже с уменьшением влияния гидротерм, в остаточных грабенах, заполнявшихся обломочным материалом, поступавшим с горстовых блоков, накапливался тонкий терригенный и органический материал в ассоциации с кремнистым и алевролитовым веществом. В узких грабеновых зонах происходила замедленная циркуляция воды. В этих условиях образовались **черносланцевые толщи** (черносланцевый горизонт в Северо-Западном Каратау и в других районах), обогащенные органическим материалом, V, Mo, U, Re, Hg, Sb, Au и другими редкими и рассеянными элементами (таблица 1.12). Среди терригенно-кремнисто-карбонатных толщ, вблизи зон апвеллинга, содержащих повышенные концентрации растворенных **фосфора и кремния**, происходило формирование фосфоритов. **Нефтепроизводящие** толщи образовались в тропических и гумидных климатических поясах на внутриплитном шельфе.

### **1.8.2 Формирование месторождений на стадии преобразования внутриплитного шельфа в активную окраину литосферной плиты**

Дальнейшая судьба рудообразования зависит от развития процессов на конвергентных границах плит.

Принято выделять 4 ступени формирования месторождений полезных ископаемых: 1 – обогащение коры происходит в рифтовых зонах СОХ на океаническом дне; 2 – на активных окраинах континентов; 3 – совместное воздействие эндогенных и экзогенных процессов на процесс рудообразования (происхождение руд, разрушение, транспортировка, аккумуляция и переработка в зонах субдукции); 4 – процесс разрушения, седиментации и рециклинга вместе с содержащими их породами. Однако, первая ступень соответствует не формированию месторождений, а выделению рудных компонентов, и, кроме того, не учитывается ступень, соответствующая начальной стадии раскола плиты. А именно на этой стадии закладываются основы для формирования самых богатых месторождений. Поэтому, необходимо выделять еще одну ступень – условно назовем «0». Эта ступень соответствует начавшемуся расколу плиты, за которым последует процесс раздвижения плит, и затем субдукция.

Первичные руды, формирующиеся в зоне спрединга в более позднее время, по мере удаления зоны шельфа от СХ, оказываются в худших условиях, чем образовавшиеся на начальной стадии раскола плиты. Так как, на удалении от областей сноса терригенного материала, они подвергаются разрушению. Поэтому к началу погружения в зону субдукции, рудные компоненты находятся на субдуцируемой плите в рассеянном виде и на ранней стадии субдукции осадочные слои с фрагментами мантийной коры и с содержащимся в них рудным веществом соскабливаются, испытывая различную степень регионального метаморфизма. Метаморфизм способствует формированию различных рудопроявлений и месторождений, например, метаморфизм **терригенных черносланцевых толщ способствует формированию месторождений золота.**

Продолжение субдукции уже не сопровождается формированием такого большого объема метаморфических пород, из-за отсутствия мощных осадочных толщ на субдуцируемой плите. Попадая в зону субдукции, литифицированные осадки, перекрывающие мантийную кору, претерпевает метаморфизм, а содержащиеся в осадках и коре рассеянные рудные элементы могут образовать скопления различных рудных компонентов. Продолжающееся погружение плиты, с уже обогатившимся рудным веществом, сформированным на ее поверхности, приводит к формированию магматического очага и более богатых руд (дальнейшее обогащение за счет соединения ранее разобщенных рудных проявлений).

Как известно, погружение плиты сопровождается трением. Это приводит к формированию гидротерм. Гидротермы насыщаются рудным веществом, заключенным в магматическом расплаве. Пути циркуляции гидротерм являются трещины, зоны дробления и межзерновое пространство. Так формируются месторождения на островных дугах. В задуговом бассейне в начальную стадию его развития происходит аккумуляция терригенно-карбонатных толщ, причем мощность осадков задуговых бассейнов

значительно больше, чем в абиссальной зоне океана. Эта стадия наиболее благоприятна для формирования **нефтепроизводящих** толщ.

В зрелую стадию развития задугового бассейна, характеризующуюся расколом коры надсубдукционной плиты и формированием ПСХ, осадочные толщи подвергаются гидротермальной переработке и оруденению. В этих условиях могут формироваться скарноидные месторождения вольфрама, молибдена и олова. А.А. Ковалевым разработана концепция полигенного образования крупных месторождений вольфрама, молибдена и олова [29;32]. По его мнению, главная фаза тонкокристаллическая эксгальационно-осадочная минерализация стратиформных залежей была сформирована на океаническом дне в пул-апарт бассейнах и затем была преобразована при региональном динамо- и контактовом метаморфизме последующими субдукционными и коллизионными интрузиями гранитоидов. *Мы полагаем, что такие условия характерны и для задуговых бассейнов в активную стадию их формирования.* Во-первых, структуры, аналогичные по строению пул-апарт структурам СХ формируются и в задуговом бассейне. Во-вторых, пул-апарт-структуры, сформированные в зонах СХ после начальной стадии ракола плиты, поглощаются в зону субдукции, а пул-апарт структуры, возникшие на ранней стадии раскола плиты и в задуговых бассейнах, могут принять участие в формировании композиционной коры. В-третьих, для стадии закрытия задугового бассейна, характерно образование пород регионального динамометаморфизма и контактового метаморфизма. В-четвертых, внедрение интрузий гранитоидов характерно для стадии закрытия задуговых бассейнов и при погружении мантийной плиты под окраину мантийно-композиционной без образования задуговых бассейнов.

На подвергающейся переработке части шельфа, с погребенными «курильщиками», формируются полиметаллические колчеданные с Ag и Au, барита и др., терригенные черносланцевые толщи, после переработки могут дать «регенерированные» гидротермальные месторождения сурьмы, ртути, молибдена, урана, рения.

Процесс рудообразования зависит от сочетания множества факторов:

- вещественного состава пород и руд на субдуцируемой плите и на плите, располагающейся над зоной субдукции;
- морфологических условий субдуцируемой плиты и плиты, под которую происходит субдукция;
- тектонических условий в зоне субдукции (формирование пликативно-дизъюнктивных нарушений);
- последствий субдукции, которые могут привести к надвиганию пластин и блоков (обдукция мантийной коры на окраину континента);
- геодинамических условий мантии (влияние конвективных потоков на перемещение плиты и коровых пластин);
- влияния интрузий на вмещающие породы;
- состава интрузий;
- состава рудного вещества в интрузиях и во вмещающих породах;



- условий рудообразования (на суше или на дне океанов и морей);
- от температуры гидротерм.

Поскольку рудообразование и размещение МПИ зависят от геодинамики мантии, отражающейся на коровом уровне. Возможны, по крайней мере, следующие варианты, или их сочетание:

1) Преобразование внутриплитного шельфа в активную окраину плиты происходит без сдвижения литосферных пластин и блоков по результирующей. Результат: формирование поднадвиговых зон и погребение месторождений, сформированных на «0» ступени. Руды погребены под толщей метаморфизованных пород мантийной коры и осадочного слоя, соскабливаемых в начальную стадию субдукции. Продолжение субдукции приведет к возникновению интрузивного магматизма, что будет способствовать обогащению рудного вещества и образованию в верхних зонах коры и на контакте интрузий богатых месторождений. В этом случае все крупные месторождения будут находиться на поверхности земной коры, а на глубине их не будет.

2) При преобразовании внутриплитного шельфа в активную окраину плиты, мантийная конвекция оказывает результирующее влияние на структурные элементы земной коры, сформированные на стадии образования внутриплитного шельфа. Результат: произойдет сдвижение остаточных структур СХ, перекрытых осадочным слоем вместе с рудами «0» ступени образования.

3) Преобразование внутриплитного шельфа происходит под влиянием результирующего движения мантийной конвекции при последовательном смещении метаморфизованных толщ, сформировавшихся на ранней стадии субдукции с одновременным формированием энсиалического блока и задугового бассейна. Результат: рудогенез 2 и 3 ступеней. Закрытие задугового бассейна приведет к надвиганию терригенно-карбонатных толщ задугового бассейна на энсиалический блок, перекрывая рудные зоны.

4) Формирование энсиматических островов с задуговыми бассейнами. Результат: Рудогенез 2 ступени.

5) Изменение направления движения литосферных пластин может привести к надвиганию на ранее образовавшиеся фрагменты других блоков и пластин. Результат: метасоматическая переработка вышележащих пластин и формирование месторождений как в нависающей, так и в поддвигаемой пластинах.

6) На рудогенез оказывает влияние интрузии. Результат: состав интрузий и руд зависят от состава исходного вещества.

### 1.8.3 Типизация месторождений

Изучение скоплений рудных компонентов, распространенных в земной коре, в свое время позволило разработать теоретическую концепцию прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых. Базой для создания этой

концепции являлась классическая геосинклинальная теория, в которой большое значение отведено влиянию магматизма, осадконакопления, метаморфизма и вертикальных движений земной коры на формирование и условия залегания месторождений полезных ископаемых. Классификации, выполненные на базе геосинклинальной теории, не отражают сути геодинамических условий формирования руд [142].

Поскольку состав руд зависит от баро-термических условий, определенных процессами геодинамики, форма рудных тел зависит от тектоники, а тектоника формируется под влиянием геодинамики, то наиболее оптимальным является таксономический ряд, в котором отражен масштаб таксона. Названия выделяемых таксонов – условны, им необходимо дать соответствующие названия:

**1 Ранг** – выделяется по геодинамическому режиму, который отражает влияние мантийной конвекции на характер взаимного перемещения литосферных плит, пластин и блоков: столкновение; скольжение и сдвигание; надвигание; поддвигание литосферной плиты под окраину другой плиты; расхождение плит; раскол плиты; соскабливание осадочного слоя и выступающих фрагментов мантийной коры в глубоководном желобе.

**2 Ранг** – по структурным элементам земной коры, формирующимся под влиянием мантийной конвекции, отразившейся на коровом уровне: подводные склоны, глубоководные желоба, остаточные структуры спредингового хребта, задуговой бассейн в стадию раскрытия, задуговой бассейн в зрелую стадию, задуговой бассейн в стадию закрытия. Междуговой бассейн, мантийная кора, мантийная кора с пелагическими осадками, внутриплитный шельф, псевдоспрединговый хребет, энсиалический блок, зона раскола плиты, зона раскола коры, межгорные или предгорные впадины, вулcano-плутоническая дуга на шельфе, прибрежная низменность и лагуна, внутриконтинентальный бассейн, наложенные структуры. Структурные элементы распознаются по геологическим формациям.

**3 Ранг** – соответствует геологическим формациям.

**4 Ранг** – по генезису.

**5 Ранг** – по вещественному составу руд.

**6 Ранг** – по условиям залегания руд.

## 2 ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ КАРТЫ: РАЗНОВИДНОСТИ, МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ

Геодинамическая карта должна отражать динамику формирования литосферы – последовательность образования, геодинамические и тектонические условия формирования композиционной коры. Композиционная кора состоит из фрагментов литосферных пластин и блоков, сформированных в различных геолого-геоморфологических условиях, обусловленных геодинамическим режимом и характеризующихся определенным набором формаций, а также геодинамическим режимом формирования наращивания композиционной коры.

Принципы составления геодинамических карт А.А. Ковалева [34], положены в основу геодинамической карты территории СССР масштаба 1:2500000, составленной Л. П. Зоненшайном, Н. В. Межеловским и др.

Предлагаемая в работе [85] легенда геодинамической карты усовершенствована и приведена в таблице 3.1.

Таблица 2.1 – Содержание геодинамической карты по представлениям автора

| По А.А. Ковалеву [143]                                                                                                                       | Предлагаемая автором                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Численно-буквенные индексы</b> отражают время формирования пород, слагающих формацию. Их написание соответствует геохронологической шкале | <b>Численно-буквенные индексы</b> отражают время формирования пород, слагающих формацию. Их написание соответствует геохронологической шкале                                                                                                            |
| <b>Цвет.</b> Комплексы основных структурных элементов земной коры (островных дуг, окраинных морей, активных окраин континентов и т.д.)       | <b>Фоновая окраска (цвет фона)</b> отражает время формирования композиционной коры. Цвет подбирается в соответствии с геохронологической шкалой.                                                                                                        |
| <b>Крап, штриховка</b> отражают состав геологических формаций                                                                                | <b>Крап, штриховка</b> – структурные элементы, сформированные под влиянием геодинамических процессов. Распознаются геодинамические структуры по геологическим формациям.<br><b>Буквы латинского алфавита</b> соответствуют составу интрузивных формаций |
|                                                                                                                                              | <b>Цвет штриховки и крапа</b> отражает геодинамический режим формирования композиционной коры                                                                                                                                                           |

Структурные элементы земной коры (геодинамические структуры) формируются под влиянием мантийной конвекции, отразившейся на коровом уровне. Графически формирование композиционной коры можно изобразить с помощью геодинамической карты, на которой с помощью системы условных обозначений отражается время формирования пород, время формирования композиционной коры, структурные элементы, геодинамический режим формирования композиционной коры.

В связи с приведенными уточнениями, ниже приведен макет легенды геодинамической карты.

## **2.1 Легенды геодинамических карт**

***Карта геодинамических условий формирования структурных элементов земной коры*** является основой для прогноза размещения рудных компонентов в выделяемых структурных элементах земной коры. На карте изображены (Приложение 1-5):

### ***1 Время формирования пород, слагающих формацию***

Численно-буквенные индексы в соответствии с геохронологической шкалой, например породы, сформированные в силурийском периоде – S и т.д.

### ***2 Динамика формирования композиционной коры***

Фоновая окраска карты отражает динамику формирования композиционной коры во времени, т.е. время формирования композиционной коры показано цветом и оттенком цвета, в соответствии с раскраской, принятой в хроостратиграфической шкале. Например, формации, образовавшиеся в позднем кембрии, примут участие в формировании композиционной коры – в раннем карбоне, поэтому поле их распространения будет закрашено в светло-серый цвет, а индекс укажет на время образования пород.

### ***3 Структурные элементы земной коры, сформированные под влиянием геодинамических процессов***

Структурные элементы земной коры изображены крапом и штриховыми условными знаками: подводные склоны; глубоководные желоба; остаточные структуры спредингового хребта; задуговой бассейн в раннюю стадию развития; задуговой бассейн в зрелую стадию развития; задуговой бассейн в заключительную стадию развития; междуговой бассейн; мантийная кора; мантийная кора, перекрытая пелагическими осадками; внутриплитный шельф; межгорные и предгорные впадины; ПСХ; энсиалический блок; энсиматический блок; зона раскола коры; вулcano-плутоническая дуга на шельфе; прибрежная низменность и лагуна; внутриконтинентальный бассейн; структуры, предопределенные экзогенными и эндогенными процессами; метаморфизованные пелагические осадки, соскобленные в зоне субдукции.

### ***4 Геодинамический режим формирования композиционной коры***

Геодинамический режим изображен цветным крапом и штриховкой. На карте выделены следующие разновидности геодинамического режима: смещение внутриконтинентальных пластин и блоков; поддвигание литосферной плиты под окраину другой плиты; раскол плиты; соскабливание осадков с мантийной коры у желоба; сдвигание литосферных пластин и блоков в период формирования композиционной коры на активной окраине плиты.

### ***5 Линейные границы***

Границы литосферных пластин и блоков совпадают с границами геологических формаций и с тектоническими. Изображены линиями различной жирности.

**Геодинамическая карта перемещения литосферных пластин и блоков.** Карта отражает влияние мантийной конвекции на характер перемещения структурных элементов. Она служит для объяснения причин неравномерного размещения рудных компонентов в земной коре и выяснения местоположения поднадвиговых зон (Приложение 6-10).

#### **1 Время формирования пород, слагающих формацию**

Численно-буквенные индексы в соответствии с геохронологической шкалой.

**2 Состав формаций** – показан штриховыми условными знаками.

**3 Структурные элементы земной коры с характерными для них рудными компонентами** – изображаются цветом фона и зарамочными таблицами, в которых отражен состав рудных компонентов и стадия формирования полезных ископаемых.

#### **4 Границы литосферных пластин**

Границы литосферных пластин и блоков показаны линиями различной жирности. Границами литосферных пластин на поверхности являются традиционно выделяемые стратиграфические подразделения (серия, свита, комплекс), различные несогласия, границы формаций. Границы литосферных блоков совпадают с разрывными нарушениями, выделяемыми на геологических картах.

*В отличие от известных геодинамических и тектонических карт, фон цвета показывает не время завершения складчатости, а время формирования композиционной коры. Это позволит уточнить историю формирования литосферы всей планеты.*

## **2.2 Геодинамическое районирование**

Геодинамические карты, составленные с помощью ГИС по предлагаемой методике, одновременно являются основой для районирования и типизации территории. Специализация районирования может быть любой: металлогеническая, сейсмотектоническая, инженерно-геологическая, горно-геологическая и др. Это зависит от конкретной задачи и масштаба карты. В связи с уточнениями, касающимися механизма формирования земной коры, внесем изменения в принцип геодинамического районирования литосферы.

**Регионы** – элементы высшего порядка, представлены литосферными плитами, возникшими под влиянием планетарных геофизических процессов. Плиты характеризуются неоднородным строением, как по латерали, так и по вертикали. Неоднородность строения зависит от геодинамических условий формирования земной коры на дивергентных и конвергентных границах. В связи с этим, регионы выделяются по типам плит: мантийная, мантийно-композиционная, композиционная. Литосферные плиты можно изобразить на

обзорных картах мира, на картах, охватывающих районы океанических побережий при помощи заглавных букв в названии типа коры: мантийная – М; мантийно-композиционная – МК; композиционная – К.

**Области** – элементы первого порядка, отражающие время формирования композиционной коры (или мантийной, но только для современных океанических бассейнов). Изображаются цветом, в соответствии хронологической шкалой, либо малыми буквами латинского алфавита: а – архей; b–протерозой; с– кембрий; d – ордовик; е – силур; f–девон; g – карбон; h – пермь; I – триас; j – юра; k – мел; l – палеоген; m –неоген.).

**Районы** – элементы второго порядка, отражают тип структурного элемента земной коры, наращивающего литосферную плиту сверху (это пластины и блоки). Районы выделяются по набору формаций и отражают геодинамические условия формирования структурного элемента земной коры. Геодинамические условия, способствующие образованию пород, слагающих формации отображены цветным крапом и штриховкой (можно использовать любой цвет). Границами районов являются границы формаций, угловые несогласия, тектонические границы.

**Участки** – элементы третьего и более низких порядков. Принцип их выделения зависит от задач, поставленных перед районированием. Например, для решения задач по прогнозу размещения МПИ, необходимо выделить типы структурных элементов по месту образования формации – индикатора: центральная рифтовая долина; грабеновые зоны на склонах СХ; остаточные структуры СХ; шельф, континентальный склон; верхняя часть глубоководного желоба и др.

Специализацию районирования можно отразить с помощью системы условных знаков, зарамочных таблиц и др. Например, для металлогенического районирования важна геохимия и выделение поднадвиговых зон; для инженерно-геологического – важны сведения о литолого-петрографическом составе формаций, геоморфологическом строении; для сейсмотектонического районирования – плотность распределения границ литосферных пластин и блоков, глубина залегания выделяемых пластин, являющихся потенциальными поверхностями смещения, для гидрогеологического районирования – состав, и динамика подземных вод и др. характеристики. Все эти и другие сведения составляют базу данных.

### **3 ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННОЙ КОРЫ, СЛАГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЮ КАЗАХСТАНА**

#### **3.1 Формирование геологических структур Казахстана по представлениям различных авторов**

##### **3.1.1 Традиционные представления о формировании геологических структур территории Казахстана**

Издавна Казахстан привлекает к себе внимание геологов различных специализаций; на его примере рассматривались и решались многие проблемы региональной геологии СССР, теоретические вопросы закономерностей развития геологических структур и связанных с ними, месторождений полезных ископаемых, а также разрабатывались и совершенствовались принципы и методы регионального формационного и металлогенического анализа.

Современные представления о тектоническом строении Центрального Казахстана и истории развития его структур сформировались на основе исследований крупнейших советских геологов Н. Г. Кассина, Н. С. Шатского, А. Д. Архангельского. В конце 30-х г. XX столетия Н. Г. Кассин и Н. С. Шатский опубликовали работы, ставшие классическими для многих поколений геологов, работавших в Казахстане. Первая обобщающая фундаментальная работа по геологии Казахстана издана в 1941 г. под редакцией Н.Г. Кассина [144]. Главные выводы, к которым на основании многолетних исследований пришел Н. Г. Кассин, сводятся к следующему:

- в каледонский и герцинский этапы диастрофизма возникли системы складок, резко отличающиеся общим структурным планом, т.е. простирания двух разновозрастных систем складок в центральных районах пересекаются почти под прямым углом;
- резкие отличия в направлении каледонских и герцинских складчатых сооружений сопровождаются различиями в форме складок, магматических проявлений и металлогении;
- не всякая гнейсовая толща или свита, состоящая из сильно метаморфизованных пород, является докембрийской, некоторые метаморфические породы Прибалхашья, Кокчетавского района и Мугоджар нужно принимать за докембрийские пока со значительной условностью... выяснить истинные возрастные соотношения их могут только более подробные исследования.

Для каждого из этапов Н.Г. Кассин выделил систему геосинклиналей (геосинклинали и «подвижные шельфы») и платформ (платформы и «континенты»). Однако эти основные структурные элементы претерпели существенные изменения и перестройку даже в западных и южных районах, где направление герцинских и каледонских складок совпадает, т.е. для этих районов отмечается изменение общего структурного плана. Резкие изгибы складчатости объяснялись при этом влиянием жестких, консолидированных

платформенных массивов докембрийского возраста, образующих сложную мозаичную систему.

Н.С. Шатский [145; 146] пришел к иным выводам: направление герцинских складок повторяет каледонские складчатые деформации, а наблюдающиеся изменения простираний связаны с резкими заворотами и виргацией складок. «Поэтому мы приходим к выводу, – пишет Н.С. Шатский, – что между каледонским и герцинским периодами складчатости в пределах Казахской складчатой страны не произошло резкого, принципиального изменения общего плана складчатости. Герцинская складчатость унаследовала свои общие направления от каледонских дислокаций».

Н.С. Шатский считал, что унаследование и совпадение разновозрастных структур не исключает различных простираний: это может быть обусловлено наличием наложенных мульд, сложенных молодыми породами и располагающихся с большим стратиграфическим перерывом на сильно дислоцированных древних отложениях. Вместо «геосинклиналей и антиклиналей», выделяемых Н.Г. Кассиным, Н.С. Шатский, выделяя ряд крупных синклиналиев и антиклиналиев, отмечал, что «пространственное распределение складок достаточно сложно, особенно в центральных районах, где они испытывают резкие изменения простираний, но *«генетический смысл такой дисгармонии не ясен»*, может быть, во «влиянии» складок средней части Казахстана надо видеть явление интерференции уральских и Тянь-Шаньских движений; может быть, резкие изгибы складчатых полос указывают на менее стесненное, более свободное складкообразование в этом районе» [145; 146].

А.Д. Архангельский [147; 148] отмечал, что в результате каледонской складчатости в Центральном Казахстане возник *устойчивый срединный массив*, разделивший герцинскую геосинклинальную область на две части.

Непрерывно продолжающиеся геологические исследования территории Казахстана, позволили собрать обширный фактический материал по стратиграфии, тектонике, минералогии, петрографии, и др. На основании новых данных в 1958 г. большим авторским коллективом ВСЕГЕИ, АН СССР, Министерства высшего образования издан том «Геологическое строение СССР». В начале 70-х годов опубликованы тома «Геологии СССР» для всех регионов Советского Союза. В них обобщен обширный фактический материал, полученный в результате исследований, выполненных после 1941 г.

В последующие годы исследования в различных регионах Казахстана проводились производственными геологическими объединениями Министерства геологии Казахской ССР совместно с геологическими научно-исследовательскими и учебными институтами Алма-Аты, Ленинграда, Москвы (МГРИ, МГУ), Новосибирска. Значительная доля выполненных исследований приходилась на Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева АН КазССР и Казахский научно-исследовательский институт минерального сырья.

Итоги исследований периодически обсуждались на различных всесоюзных и региональных совещаниях по стратиграфии, магматизму, тектонике и металлогении. По этим вопросам опубликовано множество статей,



монографий, сборников. Но интерпретация полученных материалов выполнялась с позиций геосинклинальной теории – в то время, единственной, безальтернативной. Эти представления отражены почти на всех изданных тектонических картах, в основу которых положена выдвинутая Н. Г. Кассиным идея о существовании единого докембрийского казахстанского кратона, раздробленного, а затем разделенного каледонскими и герцинскими геосинклинальными системами.

*К настоящему времени общепринятым является представление о том, что современный структурный план Казахской складчатой области сформирован, главным образом, в течение каледонского и герцинского тектономагматических циклов. В последующем значительные площади палеозойских складчатых сооружений, особенно по северной и западной периферии региона, были погребены под осадочным чехлом молодой платформы.*

### **3.1.2 Геологическая эволюция Казахстана, рассматриваемая с позиций теории тектоники плит**

Объяснение тех или иных явлений, наблюдаемых в Казахстане с позиций тектоники плит, предпринимались Ковалевым А.А., Аполлоновым М.К., Зоненшайном Л.П. и др. [149-154]. Первые глобальные геодинамические реконструкции для всего Советского Союза с позиций тектоники плит объединены в работе [153]. В частности, для Казахстана предложена первая региональная модель геодинамического развития в историческом аспекте. Массивы, сложенные метаморфическими комплексами (Атасу-Моинтинский, Кокчетавский, Улутауский и др.), отнесены к чужеродным докембрийским массивам, располагавшимся в раннем кембрии в Палеоазиатском океане. Казахстанский микроконтинент сформирован в раннем силуре путем аккреции. В позднем девоне все микроконтиненты Палеоазиатского океана начали сближаться и занимать положение между Сибирским и Восточно-Европейским континентами. В период с раннего карбона до позднего карбона Казахстанский континент со всех сторон был обрамлен зонами субдукции. Сближение микроконтинентов привело к образованию покровов.

Палеорекострукции, выполненные в работе [70], показывают, что в позднем рифее-венде в результате распада Родинии произошло отделение континентальных блоков, сложенных метаморфическими комплексами: Таримского, Кокчетавского, Улутауского и др. В раннем кембрии возник Палеоазиатский океан. С этого времени происходили формирование островных дуг и их столкновение. В позднем ордовике это привело к образованию Казахстанского континента. С позднего силура началось разрастание и консолидация Казахстано-Киргизского континента.

В 1993-1996 гг. Шенгёр и др. [62-64] предложили фундаментальную концепцию тектонической эволюции литосферы для Казахстана и сопредельных территорий. В Казахстане выделена раннепалеозойская

Кипчакская островная дуга значительной протяженности (рисунок 3.1). Для региона Кокчетавской рудной провинции выделены следующие тектонические единицы: Калмыкколь-Кокчетавская, Тенизская, Ишим-Степнякская, Ишкеольмесская, Селетинская, Акдымская и Бошекуль-Тарбагатайская. В венде-кембрии в ходе субдукции произошло отторжение узкой, протяженной полосы докембрийских пород, составивших фундамент Кипчакской и Тува-Монгольской островных дуг. Шенгер и др., признавая существование двойных островных дуг и, следовательно, наличие вблизи этих дуг окраинного моря, не выделяют каких-либо сформированных на дне этого моря тектонических пластин, состоящих из офиолитов и других пород. Позднепалеозойские трансформные разломы превратили дугу в коллаж тектонических блоков [33]. Интерпретация офиолитовых зон Казахстана с позиций умеренного мобилизма отражена в работах А. В. Авдеева и Н. С. Сеитова [149-151 и др.]. Геодинамическая эволюция Казахстана для раннего палеозоя, предложенная М. К. Аполлоновым [140], заключается в выделении Западного и Восточного блоков, включающих обломки докембрийских микроконтинентов, переработанных последующими тектономагматическими процессами. Для выделения различных зон по типам осадков в каждом блоке использованы данные по стратиграфии И.Ф. Никитина, Г.Х. Ергалиева, Д.Т. Цая и др., обобщенные в стратиграфических схемах.

По мнению В. Н. Любецкого и Л. Д. Любецкой [154] алмазная минерализация метаморфогенного и лампроитового типов, связана с раннепалеозойским этапом рифтогенеза Тениз-Кокшетауского докембрийского свода.

Представление о геологическом строении и истории геологического развития Зайсанской складчатой области, куда входит территория Рудного Алтая, сформировано трудами В. П. Нехорошева, И. А. Ротараша, Н. В. Полянского, Г. Ф. Яковлева, В. В. Авдониной, Г. Н. Щерба, Б. А. Дьячкова, Г. П. Нахтигала.

Первые тектонические реконструкции с позиций тектоники плит выполнены А.А. Ковалевым и Ю. В. Карякиным [35], предложившими схему плитно-тектонического развития этой области как активной окраины Сибирского континента, столкнувшейся с Казахским континентом. Позже эта схема детализирована в работах И. А. Ротараша и др. [155,156]. Модель, предлагаемая А. А. Ковалевым и Ю. В. Карякиным, уточнена в работе [35] для территории Иртышской зоны смятия, Рудного и Южного Алтая, Восточной зоны смятия и западной части Горного Алтая.

Геодинамическая модель развития западной части Казахстана разработана Г. Ж. Жолтаевым [66-68]. Применение теории двухъярусной тектоники плит позволило Г.Ж. Жолтаеву разработать геодинамические модели эволюции и строения юга Евразийской плиты для конца палеозоя. Им доказано, что строение и закономерности размещения осадочных бассейнов предопределены двумя уровнями тектонических движений: глобальным – на уровне астеносферы и региональным – на уровне корового астенослоя. На этом

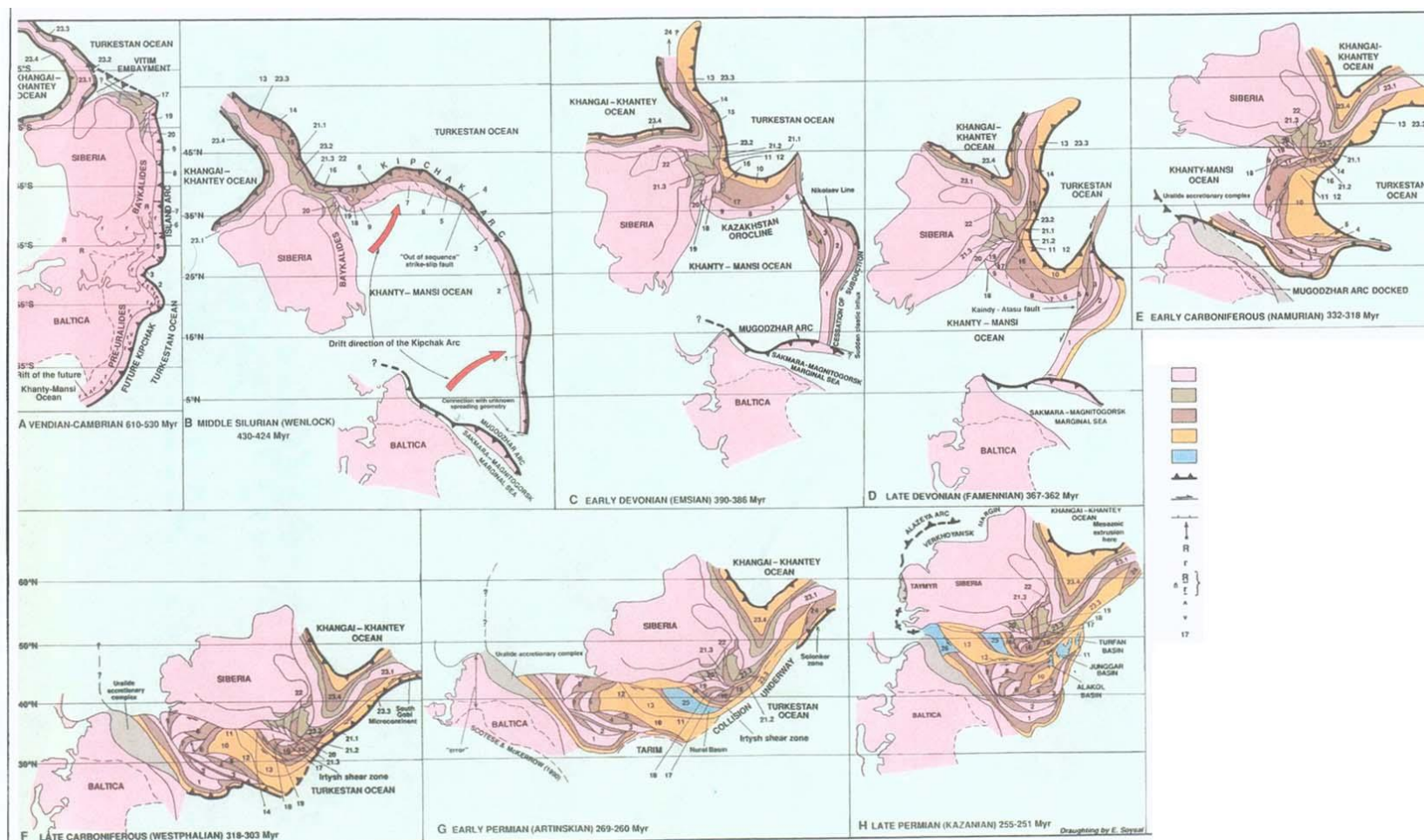


Рисунок 3.1 – Деструкция Кипчакской дуги и формирование континентальной коры Казахстанского региона [62-64]

основании разработана модель геодинамической эволюции Большого Каспия, что позволило понять условия нефтегазообразования и закономерности размещения углеводородов.

Обзор современных представлений о формировании тектоники Казахстана, показал, что предположение, высказанное Н. Г. Кассиным относительно существования единого Казахстанского докембрийского кратона, раздробленного и разделенного каледонскими и герцинскими геосинклинальными системами, используется и современными геологами.

До настоящего времени исследователи не нашли удовлетворительного объяснения причины резкого отличия в направлении каледонских и герцинских складчатых сооружений, сопровождающихся различиями в форме складок, магматических проявлений и металлогении.

Также остался открытым вопрос о возрасте метаморфизованных толщ Прибалхашья, Кокчетавского района, Мугоджар и др. районов, которые были приняты за докембрийские условно. Детальные исследования этих толщ не внесли какой-либо ясности: по-прежнему одни исследователи относят время их формирования к архею, другие – к протерозою.

При разработке модели эволюции литосферы различных складчато-надвиговых областей главными индикаторами геодинамических обстановок являются геологические формации. Анализ геологических формаций как естественных комплексов горных пород, характерных для выделяемых стадий развития структурных элементов земной коры, лежит в основе изучения эволюции и глубинного строения конкретных регионов. Появление того или иного типа формации связано с определенным тектоническим режимом [34].

На основании уточненной теоретической концепции формирования земной коры, в работе [85], с помощью ГИС выполнена переинтерпретации геологических материалов с целью определения геодинамических условий образования осадочных, вулканогенно-осадочных и магматических формаций, выделяемых на территории Казахстана. Для этих целей из пояснительной записки к карте Геологических формаций [157, 158], использованы следующие данные: описание пород, слагающих формацию, распространение и возраст выделяемых формаций.

Анализ условий образования и литолого-петрографического состава формаций, описанных с позиций геосинклинальной теории, явился основой для выяснения геодинамического режима, в котором были сформированы характерные структурные элементы земной коры, представленные ныне их смещенными фрагментами – литосферными пластинами и блоками. Нами установлено, что структурные элементы композиционной коры территории Казахстана были сформированы под влиянием последовательного изменения геодинамических обстановок:

а) раскол плиты и формирование внутриплитного шельфа (кора мантии и перекрывающий ее осадочный чехол);

б) преобразование внутриплитного шельфа в активную окраину плиты и формирование композиционной коры:

- 1) начальная стадия субдукции (метаморфиты, исходными породами для них служила кора мантии и перекрывающий ее осадочный слой);
- 2) формирование энсиалических блоков и задуговых бассейнов (кварц-кератофировая);
- 3) формирование энсиматических блоков и задуговых бассейнов (островодужные комплексы);
- 4) заложение новой зоны субдукции (плагииграниты);
- 5) внутриплитные континентальные бассейны (после мезозоя);
- 6) раскол плиты вследствие изменения широты местности (базальты).

Причем вторая и третья из перечисленных обстановок, сопровождались формированием гранитоидов.

Проведенный анализ позволил выяснить ряд особенностей, на которые обращено внимание при переинтерпретации геологических материалов:

- наличие свит большой мощности детальные исследования этих толщ, помогут выделить границы литосферных пластин;

- выделяемые формации подразделены на формации-индикаторы и формации, не являющиеся индикаторами, т.е. те которые могут образоваться в любой геодинамической обстановке. Например, формация кварцевых кератофиров, может формироваться вслед за метаморфитами и только в начале заложения зоны субдукции, т.е. при преобразовании внутриплитного шельфа в активную окраину плиты;

- выделяются формации, свидетельствующие о меридиональном направлении перемещения литосферной плиты под влиянием мантийной конвекции, например, диабаз-пикритовая;

- выявлены одинаковые формации, образовавшиеся в течение палеозойской эры, это говорит о том, что в процессе формирования композиционной коры возникали равные условия для их образования, например, нижняя терригенная имеет возраст раннекембрийский-среднеордовикский и раннедевонский-раннекаменноугольный;

- выделены формации: с ограниченным временным интервалом образования (континентальная угленосная, полимиктовая);

- выделены формации, имеющие доказанный раннекембрийский возраст и не имеющие доказанного геологического возраста.

Если осадочные, вулканогенно-осадочные, магматические формации довольно хорошо отражают геодинамические условия формирования земной коры, то для метаморфических пород этот вопрос, как и вопрос об их возрасте, оказался сложным и спорным, но его необходимо решить. Проведем анализ геодинамических условий возникновения массивов, сложенных метаморфическими породами, воспользовавшись литературными источниками.

В работе [159] отмечено, что значительную часть докембрийских формаций Казахстана составляют осадочные породы – кластогенные и хемогенные, которые образуют самостоятельные геологические тела и встречаются в различных процентных соотношениях с вулканогенными породами. По данным пересчетов химических анализов метаморфитов, в их

составе выделены два ряда первичных пород: вулканоплутонический основного и среднего состава в нижней части разреза и вулканогенно-терригенный в верхней. Используя основные положения тектоники плит, можно предположить, что нижняя часть разреза состоит из пород мантийной коры и метаморфизованных пелагических осадков.

В работе [160] показана возможность реставрации исходной природы осадков и условий их аккумуляции, а также установлена зависимость изменчивости пород по простиранию свит, пачек, прослоев от расположения области сноса. *Непостоянство состава метаморфических пород обычно интерпретируется как результат метаморфизма, на самом деле это фациальная изменчивость пород.*

В основании стратиграфических разрезов регионов, входящих в состав Северного и Центрального Тянь-Шаня а также других районов Казахстана, залегает комплекс метаморфических пород, относимых к докембрию. Расчленение метаморфизованных пород и отнесение их к докембрию **носит условный характер**, у исследователей нет единого мнения. Как правило, при выделении и установлении возраста древнейших отложений применяется структурно-тектонический и сравнительно-петрографический методы. Важным элементом при установлении возраста комплексов пород, залегающих в основании стратиграфического разреза, является возраст непосредственно перекрывающих толщ, основанный на достоверных палеонтологических данных. Но в пределах областей развития древнейших образований в Северном Тянь-Шане и юго-западных окраин Центрального Казахстана в породах, непосредственно перекрывающих эти образования, не установлены остатки органической жизни удовлетворительной сохранности. Лишь в Каратау собрана фауна трилобитов, свидетельствующая о принадлежности осадков к среднему – верхнему кембрию [161].

В процессе формирования композиционной коры древние литосферные пластины могут быть надвинуты на молодые или изменить свое нормальное залегание вследствие гравитационных перемещений. Поэтому *определение возраста древних пород по перекрывающим или подстилающим фаунистически охарактеризованным толщам может привести к ошибкам*, тем более что кровля практически всех изученных допалеозойских разрезов является поверхностью несогласия. Применение структурно-тектонического и сравнительно-петрографического методов также не может дать однозначного вывода о возрасте пород. Следовательно, при переинтерпретации метаморфических комплексов необходимо дополнить эти методы геодинамическим анализом, при проведении которого сначала последовательно определяются фациальные условия и формационная принадлежность пород, изученных в разрезе, а далее определяются геодинамические условия, способствовавшие развитию тектоники района. Однако решению этого вопроса должны быть посвящены специальные исследования. Поэтому в настоящей работе вопрос об определении времени формирования метаморфических пород рассмотрен только на примере отдельных массивов.

Посредством анализа баро-термических условий образования метаморфических формаций, в монографии более подробно рассмотрены свиты, выделяемые на территории Казахстана как докембрийские (от архея до протерозоя). Для анализа, были использованы состав пород изучаемого стратиграфического подразделения, условия их залегания и мощность отложений. Зная баро-термические условия образования метаморфических пород и состав исходного вещества, была определена геодинамическую обстановку, в которой они сформировались. Исходными породами для преобразования в метаморфические, являлись хемогенные карбонатные и кремнистые осадки, обломочные породы различного размера от пелитов до гальки, туфогенный материал, что соответствует осадочным образованиям, отложившимся в океаническом и задуговом бассейнах. Породы верхней части мантийной коры представлены вулканическими образованиями основного состава – диабазами [85].

Комплекс пород, составляющих разрез докембрийских образований в Еременьтау-Баянаульском районе, без заметных изменений продолжается на юго-восток в Аркалыкские, Муржикские и Чингизские горы. Эти породы, участвуя в строении Еременьтау-Чингиз-Тарбагатайской складчатой системы, образуют те же самые толщи (снизу - вверх): амфиболитово-гнейсовую, порфиroidно-порфиритоидную, кварцитовую и известняково-эффузивную. Преимущественное развитие в Чингиз-Тарбагатайском районе имеют верхние кварцитовая и известняково-эффузивная толщи, занимающие обширные площади. Распространение нижних толщ ограничено. Небольшие участки выходов пород отмечаются лишь в северной части района. Мощность «докембрийских» образований при продвижении в юго-восточном направлении сокращается.

Возраст метаморфических пород, слагающих породные массивы бортовых частей Торгайского прогиба, также является дискуссионным. Смирнов Г.А. и Смирнова Т.А. [162], Мазина Е.А., Ксенофонтова О.К. [163] и др. Мариновский гранитоидный массив западного борта Торгайского прогиба, по времени формирования относили к силуро-девонскому этапу магматизма. Калий-аргоновым методом подтвержден определениями абсолютный возраст, 335-386 млн лет (по геохронологической шкале 1960 г. этот период относится к S-D, а по шкале 2004 г. – к D<sub>2</sub>-C<sub>2</sub>). Но Г.А. Глушкова, допуская метаморфическое происхождение мариновской свиты, считает, что «мариновский комплекс гранитоидов следует рассматривать как докембрийский и верхнепротерозойский, а определения, полученные калий-аргоновым методом, свидетельствуют не об истинном времени образования исходных пород, а дают заниженные цифры, отражающие последующие этапы тектоно-магматического развития региона» [164].

Анализ баро-термических условий формирования докембрийских (?) свит западной части Торгайского прогиба, приведенный в работе [85], показал, что по всем признакам Мариновский массив образовался за счет палингенеза, проявляющегося при закрытии окраинного моря под надвинутой островной дугой из осадков осадочной призмы, сформированной на шельфе, в

результате чего выплавляется палингенная гранитная магма [18]. В данном примере возраст Мариновского массива поднимается с PR до D<sub>2</sub>, т.е. палингенные гранитоиды Мариновского массива свидетельствуют о том, что в D-C произошло закрытие окраинного моря. Таким образом, распознав геодинамическую обстановку, можно определить время формирования массива. Исходным веществом для образования городищенской и алексеевской свит являлись осадочный слой и верхняя часть мантийной коры. Условия преобразования исходных пород в данном случае – проявление медленной субдукции. А возраст метаморфических массивов, скорее всего, является силурийским. Необходимо отметить, что современное положение фрагментов структурных элементов земной коры обусловлено смещением пластин и блоков при формировании композиционной коры.

В последней сводной работе по Казахстану [165] к древним метаморфическим комплексам отнесены нерасчлененные верхнепротерозойские образования, условно выделяемые в Рудном Алтае, Предчингизье. Условность выделения обусловлена слабой изученностью метаморфических образований в регионе. Наиболее крупные выходы метаморфических пород на Алтае известны на Курчумском (Кальджирском) выступе и в Иртышской зоне смятия. Небольшие участки они слагают в Кирейском выступе Чарской зоны и Теректинском блоке Горного Алтая, в Западно-Жарминской зоне.

Анализ геодинамических формирования метаморфических толщ Восточно-Казахстанского региона (Чарский, Иртышская зона смятия, Курчум - Кальджирский выступ), приведенный в работе [85], показал, что исходными породами являлись metabазиты, метапелиты, метакарбонаты и метасилициты. Вследствие тектонических движений они могут преобразоваться. Первоначально эти условия создаются в глубоководных желобах при образовании Аккреционной призмы у энсиматической островной дуги на активной окраине континентов. В зоне субдукции происходят частично сдирание и смятие в складки осадков, испытывающих метаморфизм слабой степени. Причем повышение температуры обусловлено трением. Изучению этого процесса посвящена работа [71], где проведено численное моделирование образования и эксгумации эклогитов в зоне субдукции. Выяснено, что на самой ранней стадии субдукции на глубине менее 20 км возникает вязкопластичное течение метаосадочных пород в пределах Аккреционной призмы. По мере прогрессирующей гидратации и серпентинизации мантийного клина на глубине 30-70 км зарождаются области циркуляции вещества. Позже, в зоне столкновения островной дуги с континентом на стадии закрытия окраинного моря, преобразованные в зоне субдукции литосферные пластины, под влиянием результирующего движения мантии смещаются и обнажаются метаморфизованные толщи, которые надвигаются в виде пластин на окраину континента. Эти пластины, принимаемые за древнюю океаническую кору, либо за экзотические блоки, выводятся на поверхность [65].



#### 4 ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ КОРЫ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Используя теоретическое обоснование геодинамической модели формирования литосферы, приведенное во втором разделе, попытаемся восстановить последовательность образования композиционной коры, слагающей территорию Казахстана, и построить геодинамическую модель развития этой территории. А также ответить на вопросы, поставленные Кассиным Н. Г. о причинах различия в ориентировке каледонских и герцинских складчатых сооружений, форме складок, магматизме, возрасте метаморфизованных толщ.

Для построения геодинамической модели эволюции композиционной коры, слагающей территорию Казахстана, использованы материалы Афоницева Н.А. и Боровикова Л.И. [157, 158], дополненная и уточненная в работе [58] классификация геологических формаций различных геодинамических обстановок, разработанная А.А. Ковалевым [26, 27].

Традиционные методы анализа геоморфологических, геодинамических, тектонических карт и карт полезных ископаемых и др. требуют ручной обработки большого количества исходных геологических материалов. Для анализа требуются многочисленные выкопировки различных сведений с больших участков. Недостатками ручного метода являются:

- а) возможность возникновения ошибок при копировании, которые повлияют на результаты анализа;
- б) большая часть времени уходит на механическое копирование необходимой информации.

Для анализа геодинамической модели формирования композиционной коры Казахстана использованы материалы таблиц 3.2 и 3.6, приведенные в монографии [58], а для упрощения решаемой задачи – **программа MapInfo** [166-168]. Использование геоинформационных систем (ГИС) позволяет привязывать данные к графическим объектам. В отличие от обычных баз данных, которые дают табличную форму, ГИС позволяют выводить результаты запросов в графической форме: в виде карт, диаграмм, графиков. Чтобы показать данные на карте необходимо каждой записи данных сопоставить графический объект или географические координаты. Этот процесс называется геокодированием.

Применение ГИС-технологий помогает избавиться от недостатков ручной обработки и расширяет возможности анализа (можно проводить многофакторный анализ геологической информации в более короткие сроки и оформлять результаты в виде различных по содержанию карт, таблиц, графиков и отчетов). Для проведения анализа с использованием программы MapInfo, проведена кодировка объектов, подлежащих геодинамическому анализу: геодинамическая обстановка образования формаций, их состав, возраст пород, слагающих формацию, время формирования композиционной коры, стадия выделения рудных компонентов, состав рудных компонентов. Такой подход позволяет сделать выборку нужной информации по определенным критериям (Приложение 11-15).

Как показал анализ геодинамических условий, приведенный в работе [85] формации, распространенные на территории Казахстана, образовались в различных геодинамических обстановках: задуговых бассейнах в раннюю, зрелую и позднюю стадии развития, СХ, внутриконтинентальной обстановке и т.д. Учитывая то, что время образования композиционной коры и возникновения пород, слагающих формации, не всегда совпадает, пересчет, предложенный в работах [119, 121], показал, что формирование композиционной коры, слагающей территорию Казахстана, происходило непрерывно, начиная с силурийского периода.

По нашему мнению, в начале кембрия от крупной мантийно-композиционной плиты, располагавшейся в низких широтах южного полушария (это доказывается наличием известняково-доломитовой формации), под влиянием спрединга отделилась часть плиты с располагавшимися на ней континентальными выступами Сибирским, Балтийским и Канадским, а другая ось спрединга по данным, работы [169], отделила Сибирь от Канадского выступа. Таким образом, мантийно-композиционная, назовем ее Балтийско-Сибирская, плита в кембрии имела две деструктивные границы, расположенные на юге и на востоке. Образовавшиеся в кембрии границы плиты представляли собой грабеновую зону СХ, в которой были созданы условия для возникновения нижней терригенной ( $\text{Є}_1\text{-O}_2$ ) и кремнисто-сланцевой ( $\text{Є}_{2+3}$ ) формаций, характерных для зон спрединга.

В период от силура до конца палеозоя вновь сформированная плита под влиянием мантийной конвекции перемещалась от СХ, имеющих субмеридиональную и субширотную ориентировки, на северо-запад (**результатирующее** направление конвектирующей мантии). Нарастаясь в СХ и удаляясь от него, плита пересекала критическую широту южного полушария, что привело к ее расколу и образованию характерных формаций: щелочно-ультраосновной (au  $\text{Є}_3$ ) и щелочных габброидов, щелочных и нефелиновых сиенитов (asn  $\text{Є}$ ). Бывшая окраина плиты постепенно превратилась во внутриплитную шельфовую зону с морфологическими остатками грабеновой структуры СХ, принимаемой многими исследователями за континентальный склон (Приложение 16).

В перми – триасе после образования новой дивергентной границы в Атлантическом океане плита сдвигалась на север. Из-за преодоления критических широт в северном полушарии плита вновь подверглась расколам. Это привело к формированию глубоких разломов и эффузивов основного состава (каратургайский пикрит-диабазовый комплекс  $\text{P}_2 - \text{T}_1$ ) в Джезказган - Улутауском районе, отдельные дайки пикритов и диабазов в долине р. Ишим на западной окраине Кокчетавской глыбы и на правобережье р. Селеты. Причиной изменения направленности перемещения послужила встреча трех разнонаправленных конвективных потоков. Встречные потоки субширотной ориентировки способствовали прекращению движения плиты в широтном направлении, а поток, двигавшийся в субмеридиональном направлении, содействовал перемещению плиты на север.

В палеоцене была сформирована новая ось спрединга, протянувшаяся вдоль северного побережья Евразии от моря Лаптевых до Атлантики. Она отделила Евразию от Северной Америки, Гренландии и подводного хребта Ломоносова [169]. Это событие способствовало прекращению движения Евразийской плиты. В работе [170] В.Е. Хаин отмечает, что в настоящее время выяснено, что субдукция развивается не перпендикулярно к нависающей плите, а по косой. Это явление в работе [58] объясняется результирующим движением мантии от двух взаимно пересекающихся СХ. Рассмотрим это обстоятельство применительно к формированию коры, слагающей территорию Казахстана [171].

*Формирование композиционной коры также происходило под влиянием мантийной конвекции, развивавшейся на плитном уровне и проявившейся на коровом. Одновременно с процессом движения плиты, происходившим под влиянием мантийной конвекции, на коровом уровне сдвигались блоки и пластины. В силуре, вблизи древней границы плиты, определявшейся наличием остаточных структур СХ, была заложена зона субдукции, и началось формирование новой композиционной коры (в том числе слагающей будущую территорию Казахстана) [85].*

Начало субдукции характеризующееся небольшой скоростью, сопровождается соскабливанием нелитифицированных осадков, мелких выступов мантийной коры и их последующим метаморфизмом (см. раздел 2). Так в силуре за счет переработки в зоне субдукции коры мантии и первичных осадков кембрийско-силурийского возраста, перекрывающих эту кору, были сформированы *метаморфизованные толици, принимаемые за AR или PR*. Это были первые блоки композиционной коры территории Казахстана, которые смещались на северо-запад под давлением вновь причленяющихся пластин и блоков. В девоне некоторые блоки надвинулись на внутриплитную зону шельфа, располагавшуюся между Сибирским и Балтийским континентальными выступами, другие «застряли» между шельфовыми зонами Балтийского выступа и Кокчетавского шельфа. Так был сформирован Кокчетавский вал в Торгайском прогибе [85].

Увеличение мощности композиционной коры за счет надвигающихся пластин и блоков привело к замедлению охлаждения через кору, а прогрев снизу конвектирующей мантией и трущихся плит способствовали разогреву основания литосферной плиты, усилению метаморфизма пород под шельфом (район Кокшетау) [85]. Дополнительным источником тепла служил раскол Сибирско-Балтийской плиты, преодолевавшей критические широты.

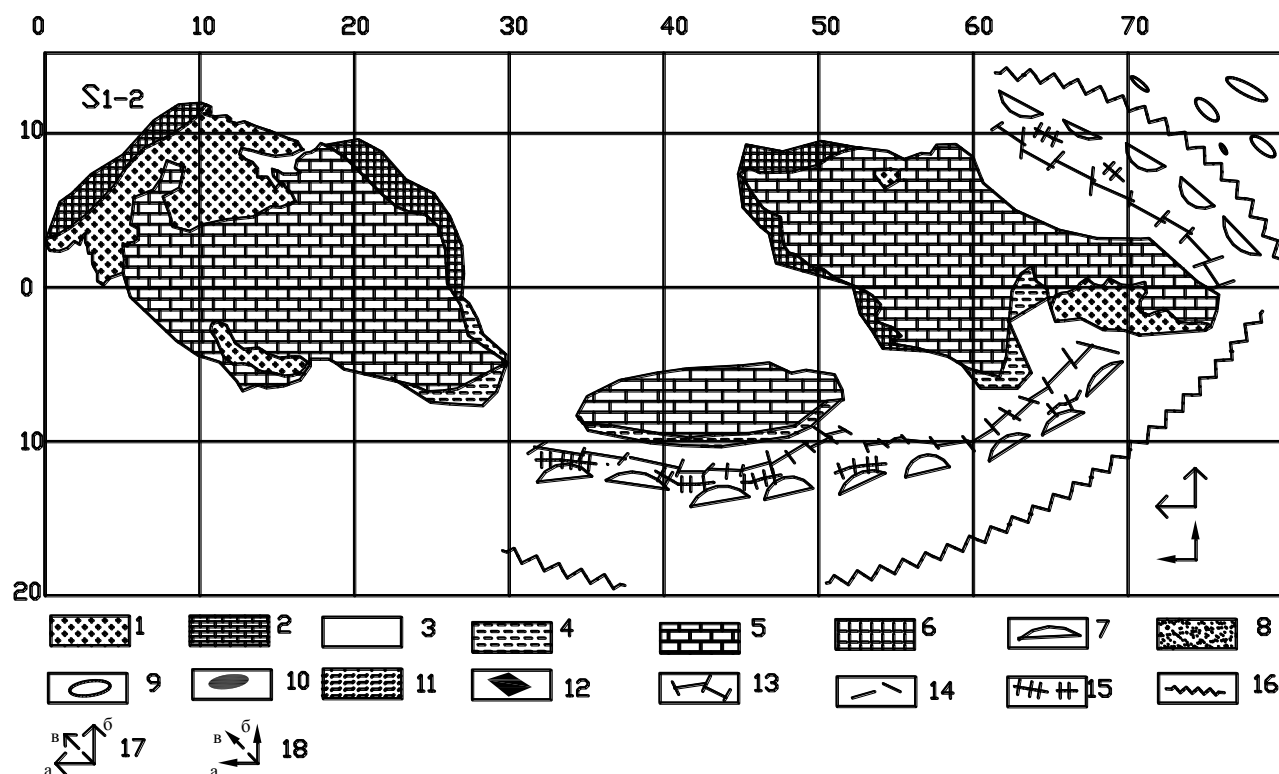
Есть еще одно доказательство того, что литосферные пластины и блоки надвигались на шельф, располагавшийся между Сибирским и Балтийским континентальными выступами, – наличие алмазов в Кокшетауской провинции. Сорохтиным О.Г. объясняется, что кимберлиты могут возникнуть из пелагических осадков [47], а исследованиями [172] установлено, что изотопный состав углерода величины  $\delta^{13}\text{C}$  алмазов пироксен-карбонат-гранатовых пород Кокшетауского массива соответствует биогенному углероду. Это означает, что в силуре – девоне были созданы условия для

*прогрева основания литосферной плиты, состоящей из мантийной коры, перекрытой осадочным слоем, содержащим биогенный материал, и о том, что образовавшиеся пластины и блоки надвинулись на шельф, богатый биогенным материалом.*

В девоне – карбоне, при субдукции продолжающейся с юга, на южной окраине Балтийско-Сибирской плиты формировались новые структурные элементы: островные дуги и задуговые бассейны. Задуговые бассейны, образовавшиеся в раннем девоне, просуществовали до конца раннего карбона. За этот промежуток времени они прошли все стадии своего развития: от раскрытия – до закрытия. Их закрытие способствовало формированию пликативных структур субширотного простирания. Как известно, процесс конвекции в мантии происходит медленнее, чем в астеносфере. Еще медленнее сдвигаются пластины и блоки под давлением вновь приключающихся фрагментов различных структурных элементов земной коры. Блоки и пластины испытывали неодновременное и неравномерное давление со стороны вновь приключающихся блоков. Испытав пликативно-дизъюнктивные деформации в период своего формирования, они, будучи литифицированными, перемещались, испытывая вращение и опрокидываясь под влиянием давящих на них вновь приключающихся блоков. Видимо этим объясняется наличие различных геофизических аномалий, и то, что пликативно-дизъюнктивные деформации соседних блоков и пластин имеют различную ориентировку. Часть сформировавшихся пластин (блоков), имеющая низкие гипсометрические отметки и сложенная молодыми образованиями, могла оказаться погребенной под надвинувшимися на них более древними пластинами.

По предложенной модели формирования композиционной коры, в конце перми – начале мезозоя активная окраина плиты располагалась южнее изучаемой территории. Косвенным признаком удаления изучаемой территории от зоны субдукции является отсутствие интрузивных образований, имеющих мезозойский возраст. К концу палеозоя между континентальными выступами Балтийско-Сибирской плиты были перемещены островодужные комплексы силур-девон-каменноугольного возраста. В результате этого сформировались мариновский массив палингенных гранитоидов, городищенская и алексеевская свиты на западном борту Торгайского прогиба, а к западной окраине Сибирской части плиты, придвинулись энсиалические блоки и фрагменты коры, сформированные в задуговом бассейне. Таким образом, были сформированы и заняли свое место структуры Рудного Алтая. Аналогичным образом формировались структуры и остальной части территории Казахстана.

Модель формирования композиционной коры, слагающей территорию Казахстана, приведена на рисунках 4.1-4.4. Предлагаемая модель возникновения композиционной коры, опирающаяся на усовершенствованную теоретическую концепцию, доказывает, что мантийная конвекция сказывается на двух уровнях: плитном и коровом. Это позволяет объяснить природу «мозаичного» строения коры, наличие границ северо-западной сдвиговой и субширотной надвиговой ориентировок. Процесс формирования



1 – докембрийские кратоны; 2 – внутриплитный шельф, сформированный в период от кембрия по силур; 3 – внутриплитная абиссальная зона; 4 – внутриплитный шельф, формировавшийся от силурийского периода по каменноугольный; 5 – внутриплитный шельф, формировавшийся от каменноугольного периода по пермский; 6 – время формирования композиционной коры, требующее уточнения; 7 – соскобленные в зоне субдукции метаморфизованные пелагические осадки и мелкие блоки мантийной коры; 8 – междуговые и межостровные бассейны; 9 – энсиматические острова; 10 – вулканические острова на шельфе; 11 – энсиалические блоки; 12 – интрузивный магматизм среднего-кислого состава; 13 – ПСХ задугового бассейна; 14 – фрагменты ПСХ; 15 – фрагменты окраины плиты (фрагменты грабеновой зоны СХ); 16 – зона субдукции

Рисунок 4.1 – Модель формирования композиционной коры территории Казахстана. Силурийский период

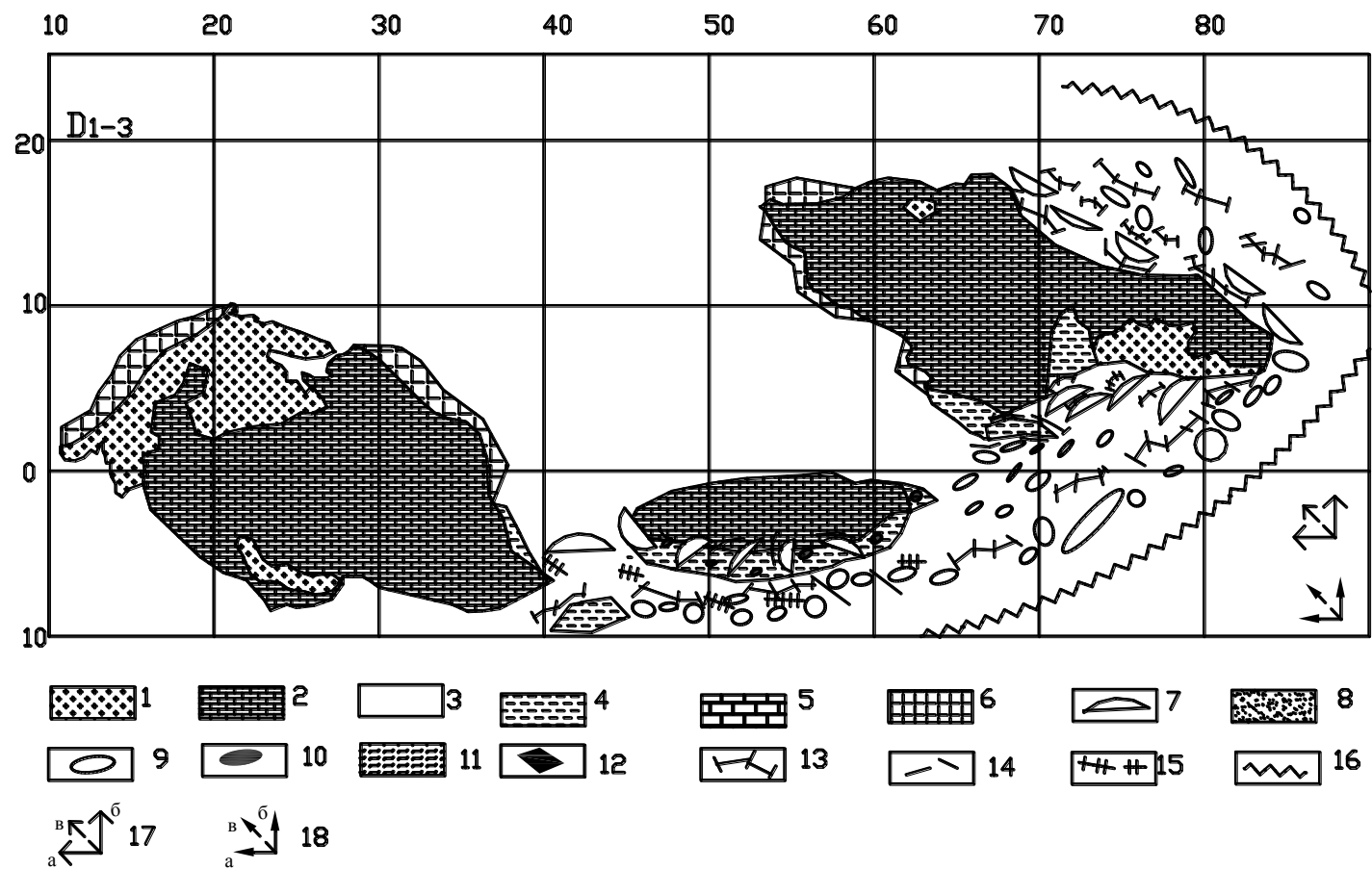


Рисунок 4.2 – Модель формирования композиционной коры территории Казахстана. Девонский период (условные обозначения см. рисунок 4.1)

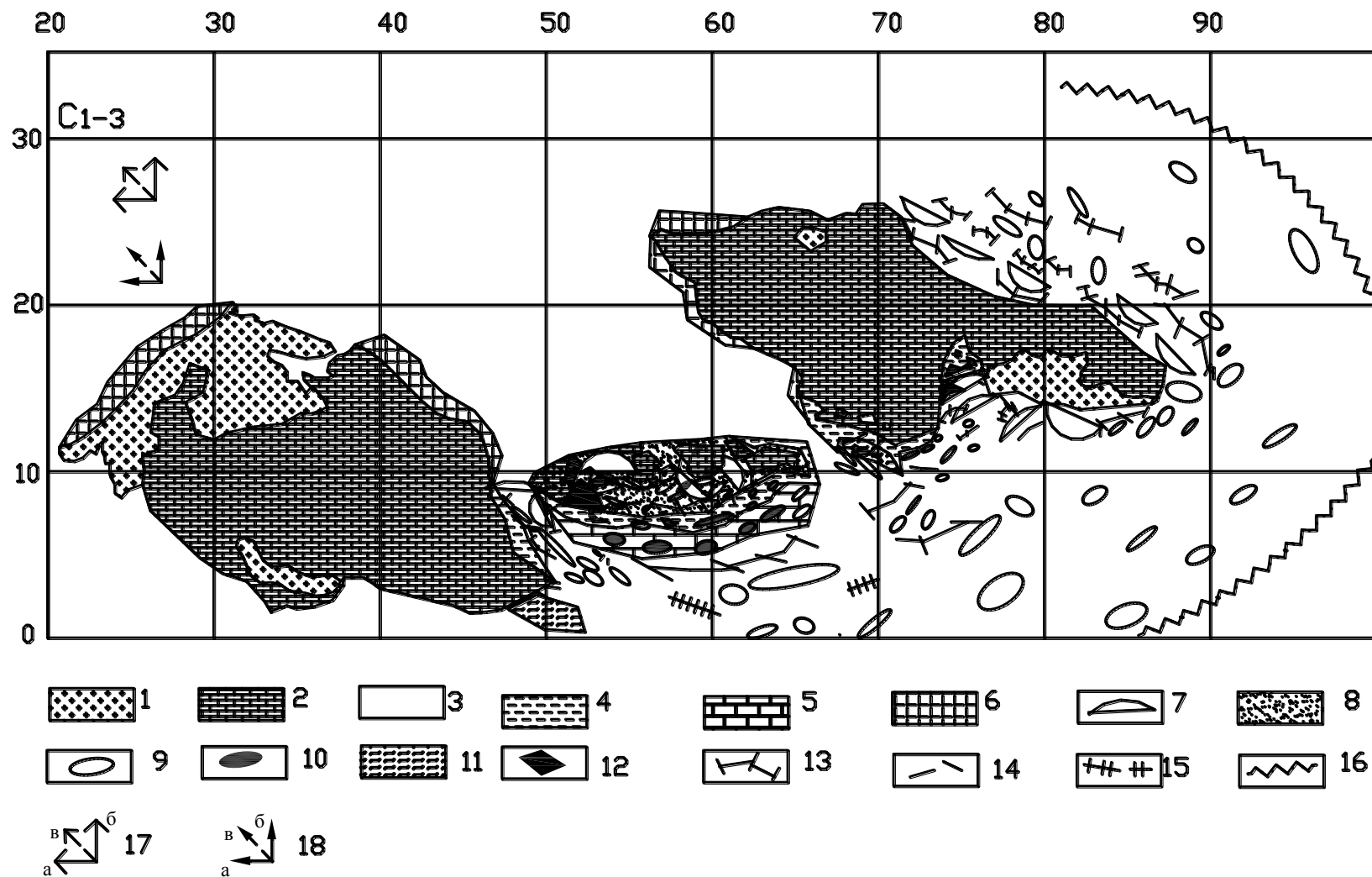


Рисунок 4.3 – Модель формирования композиционной коры территории Казахстана. Каменноугольный период (условные обозначения см. рисунок 4.1)

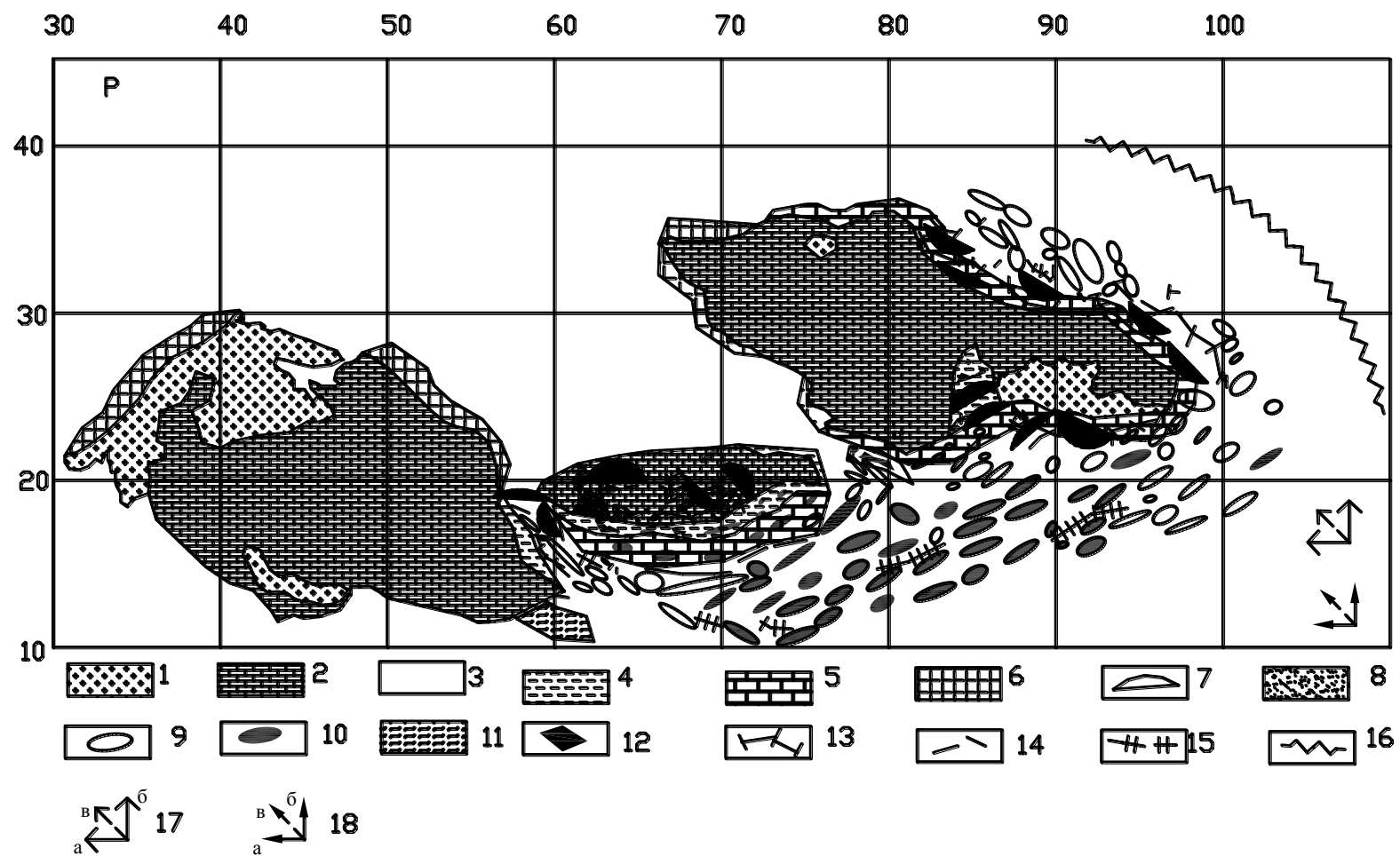


Рисунок 4.4 – Модель формирования композиционной коры территории Казахстана. Пермский период (условные обозначения см. рисунок 4.1)



композиционной коры территории Казахстана начался в силуре и происходил непрерывно. Процесс выразился в сдвигении фрагментов структурных элементов земной коры с мест их возникновения на северо-запад. Поэтому были сформированы границы, имеющие северо-западную сдвиговую ориентировку, а, начиная с мезозоя, образующиеся на ее южной окраине новые структурные элементы, сдвигались только в северном направлении, образуя надвиговые структуры. В кайнозое, после прекращения движения Евразийской плиты на север пластины и блоки передают тектонические напряжения, а их границы северо-западной и субширотной ориентировки являются зонами разрядки тектонических напряжений. В качестве примера, покажем методику переинтерпретации геологических материалов для Рудного Алтая.

#### 4.1 Формирование территории Рудного Алтая

Геодинамический анализ региона Рудного Алтая проведен в работах [35; 27; 153 63; 64], где дана общая схема эволюции Восточного Казахстана. На основании уточненной теоретической концепции формирования литосферы, отраженной в работах [173-178] выполнен геодинамический анализ условий формирования территории Рудного Алтая. В таблице 5.2 объяснены геодинамические условия образования формаций, выделяемых в пределах Рудного Алтая. Общая картина развития района изображена на рисунках 5.5 – 5.14 и представлена следующим образом, (размещение формаций дано в современных координатах):

$E_3-O_3$  – территория Горного Алтая сложена породами, сформированными на шельфе после отделения Балтийско-Сибирской плиты в кембрии (флишоидная формация и терригенно-известняковая субформация);

$S-D_1$  – заложение зоны субдукции под окраину Балтийско-Сибирской мантийно-композиционной плиты, приводит к формированию кварц-кератофировой формации ( $D_1-D_3$ ), слагающей энсиалический блок Рудного Алтая. Формация распространена в пределах Зайсанской складчатой системы, Рудно-Алтайской и Южно-Алтайской структурно-формационных зонах и Северо-Восточной зоне смятия (березовская ( $D_2e_1$ ), таловская ( $D_2e_2$ ), лениногорская ( $D_2e$ ), ревнюшинская ( $D_2e$ ), ильинская ( $D_2e_1$ ), крюковская ( $D_2e$ ), верхнекултобарская ( $D_2e_1$ ), сокольская ( $D_2e_1$ ), маслянская ( $D_2e_2$ ), успенская ( $D_2e_2$ ), хайдунская ( $D_2e_2$ ), большереченская ( $D_2e_2$ ), шипуновская и давыдовская ( $D_2gve_2$ ), каменевская и снегиревская ( $D_3fr$ ), шипулинская ( $D_2e$ ) свиты). В процессе субдукции образовалась подводная возвышенность – будущая территория Рудного и Южного Алтая, островная дуга с активным задуговым бассейном, где образовались терригенно-карбонатная и граувакковая формации (култабарская ( $D_{1-2}$ ), хайдинская, успенская, холзунская ( $D_1e$ ) и хамирская ( $D_2gv-D_3$ ) свиты;

$D_2$  – внедрение интрузий гранитоидов. Материалом для расплавов послужили пелагические и терригенные осадки. Продолжение субдукции привело к образованию на окраине Рудного Алтая островодужного вулканизма, что подтверждено наличием андезитово-терригенной островной формации.

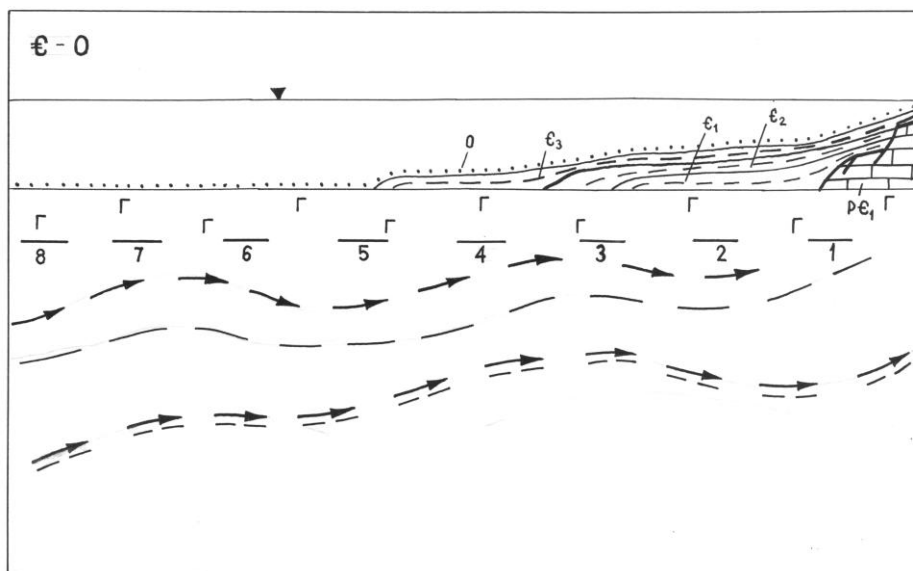
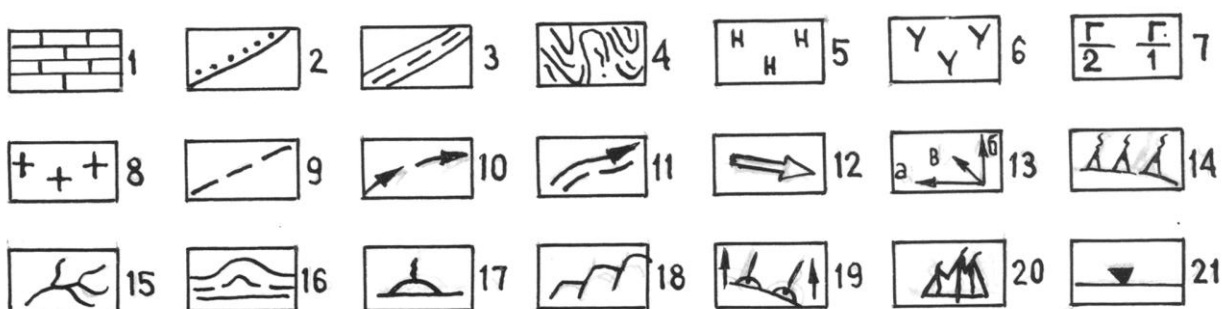


Рисунок 4.5 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Формирование внутриплитного шельфа на южной окраине Сибирской части плиты на период € - О. Условные обозначения см. на рисунке 4.3



1– карбонатные и терригенно-карбонатные отложения; 2 – нелитифицированные отложения; 3 – литифицированные отложения; 4 – пелагические осадки и фрагменты мантийной коры, сдираемые в зоне субдукции; 5 – кварц-кератофировая формация; 6 – габбро-диабазы; 7 – мантийная кора, цифры означают условный возраст мантийной коры с момента раскола плиты в зоне СХ; 8 – гранитоиды; 9 – граница астеносферы и мантии; 10 – направление конвектирующего вещества в мантии; 11 – направление движения конвектирующего вещества в астеносфере; 12 – движение литосферы; 13 – результирующее движение мантии и композиционных блоков: а – от субмеридионального СХ; б – от субширотного СХ; в – результирующее направление конвекции и смещения литосферных блоков на активной окраине плиты; 14 – трещинный вулканизм в подводных условиях; 15 – формирование трещиноватой зоны; 16 – океанический вал; 17 – заложение новой островной дуги над новой зоной субдукции; 18 – остаточные структуры рифта СХ; 19 – формирование магматических очагов основного состава на субдуцируемой плите; 20 – РСХ; 21 – уровень водной поверхности океана и задугового бассейна.

Рисунок 4.6 – Условные обозначения к рисункам 4.5, 4.7–4.14 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая

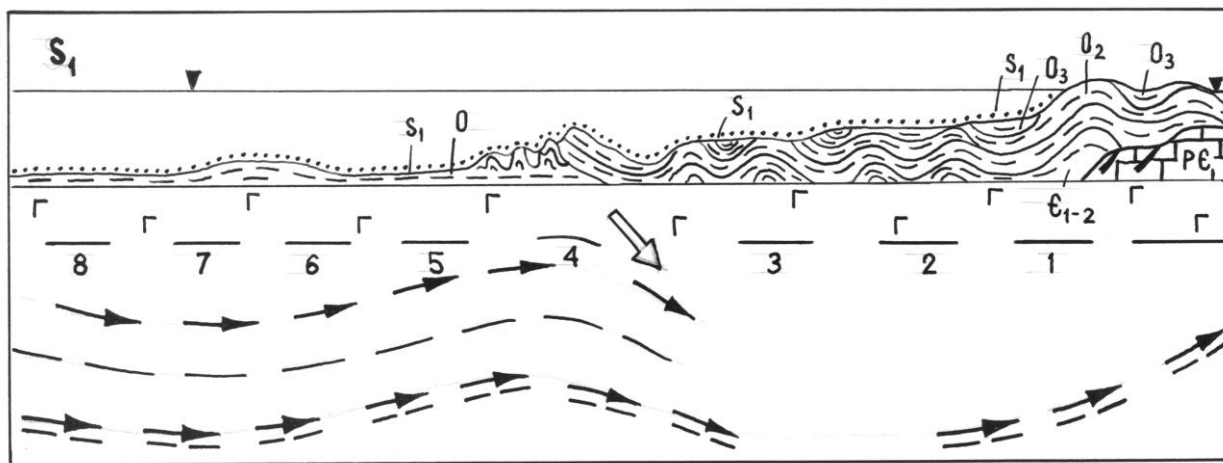


Рисунок 4.7 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Стадия преобразования внутриплитного шельфа в активную окраину плиты. Совпадение конвективных ячеек мантии и астеносферы и начало формирования энсиалического блока. Ранний силур. Условные обозначения см. на рис. 4.6

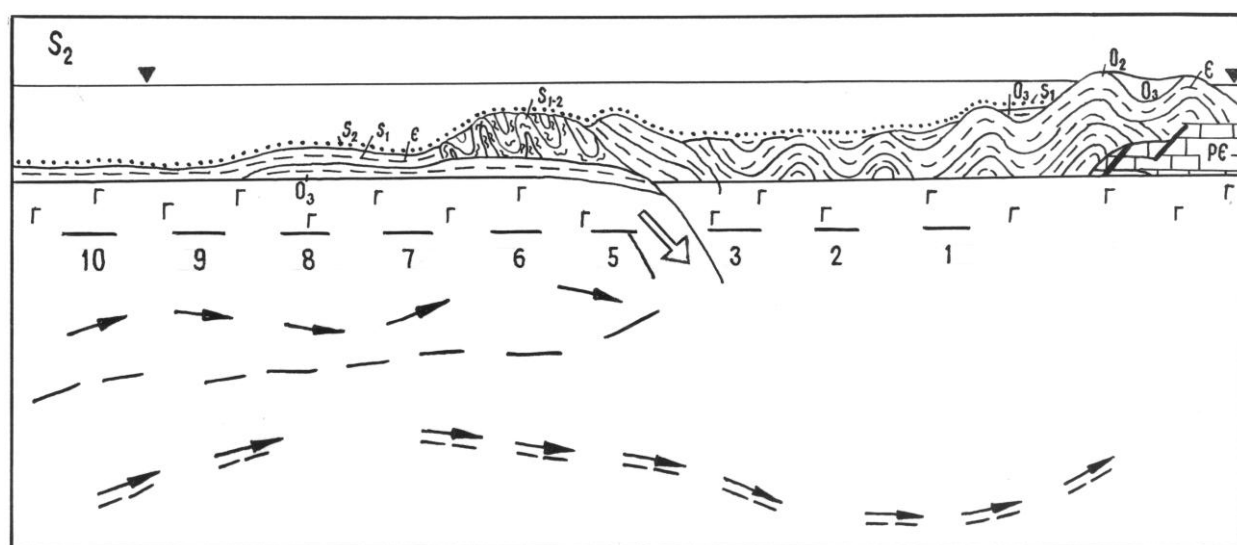


Рисунок 4.8 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Отделение энсиалического блока от внутриплитного шельфа и заложение зоны субдукции, «раскрытие» задугового бассейна. Формирование метаморфических пород перед энсиалическим блоком. Поздний силур. Условные обозначения см. на рис. 4.6

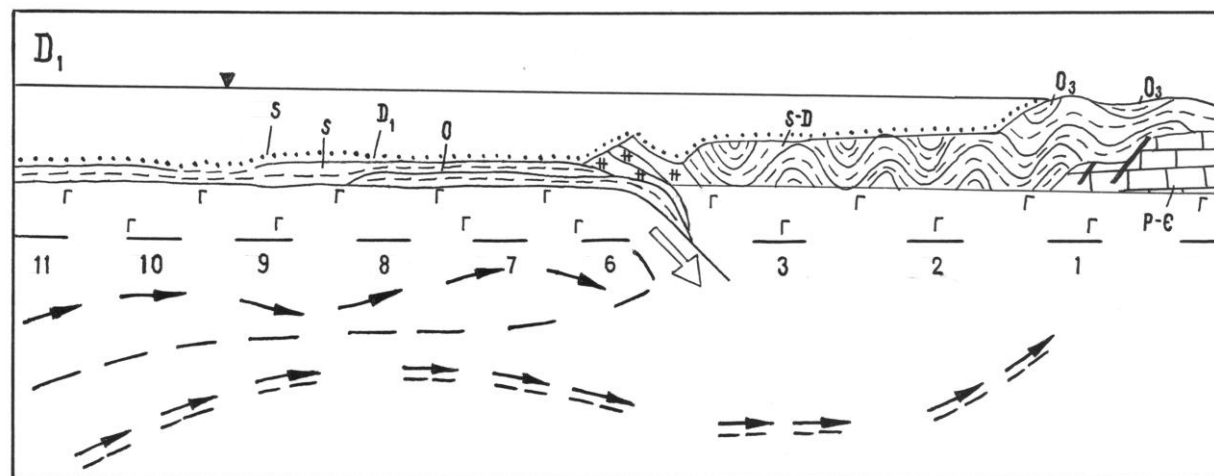


Рисунок 4.9 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Образование кварц-кератофировой формации на энсиалическом блоке, развитие подводного вулканизма. Ранний девон. Условные обозначения см. на рис. 4.6

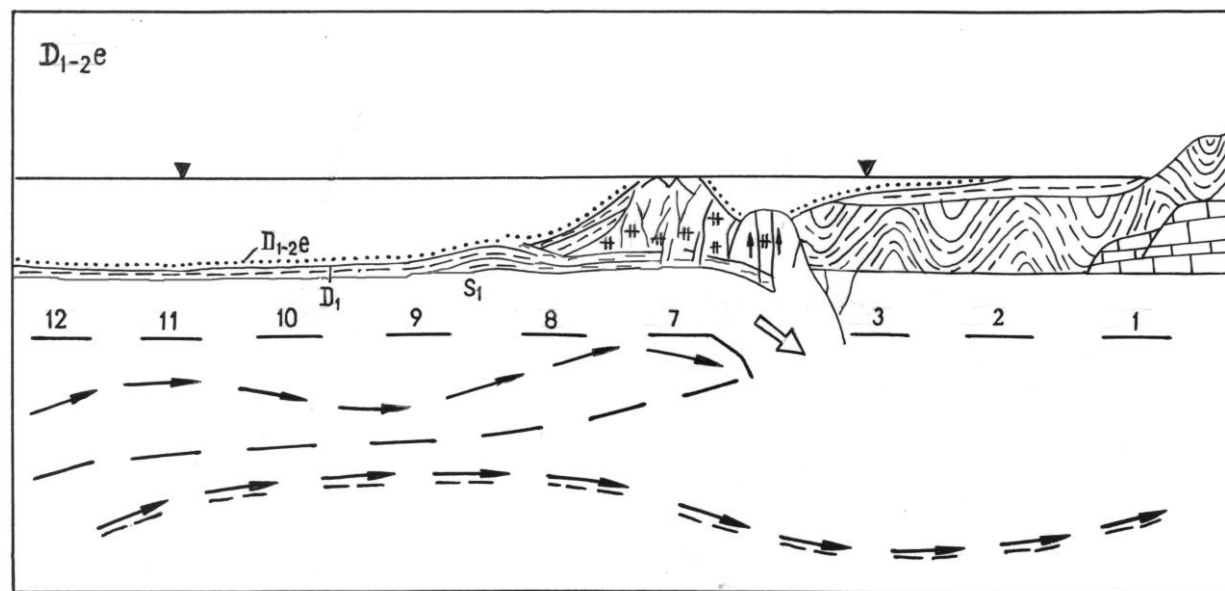


Рисунок 4.10 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Продвижение мантийной литосферы под энсиалическим блоком приводит к образованию кварц-кератофировой формации на энсиалическом блоке. Это приводит к развитию подводного вулканизма. Постепенный рост напряжений со стороны океана способствует началу деформации осадочных толщ, слагающих задуговой бассейн и древнюю окраину плиты. Средний девон. Условные обозначения см. на рис. 4.6

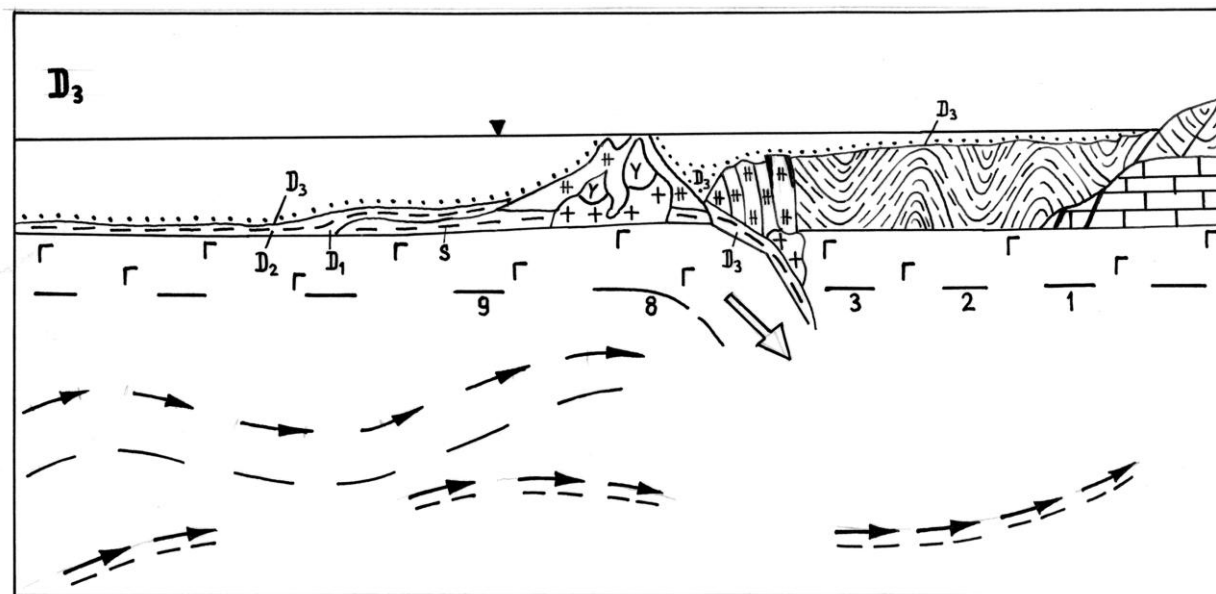


Рисунок 4.11 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Продолжается образование кварц-кератофировой формации на энциалическом блоке. Заложение зоны субдукции в задуговом бассейне под древнюю окраину плиты, приводит формированию разрывных нарушений в коре задугового бассейна. Поздний девон. Условные обозначения см. на рис. 4.6

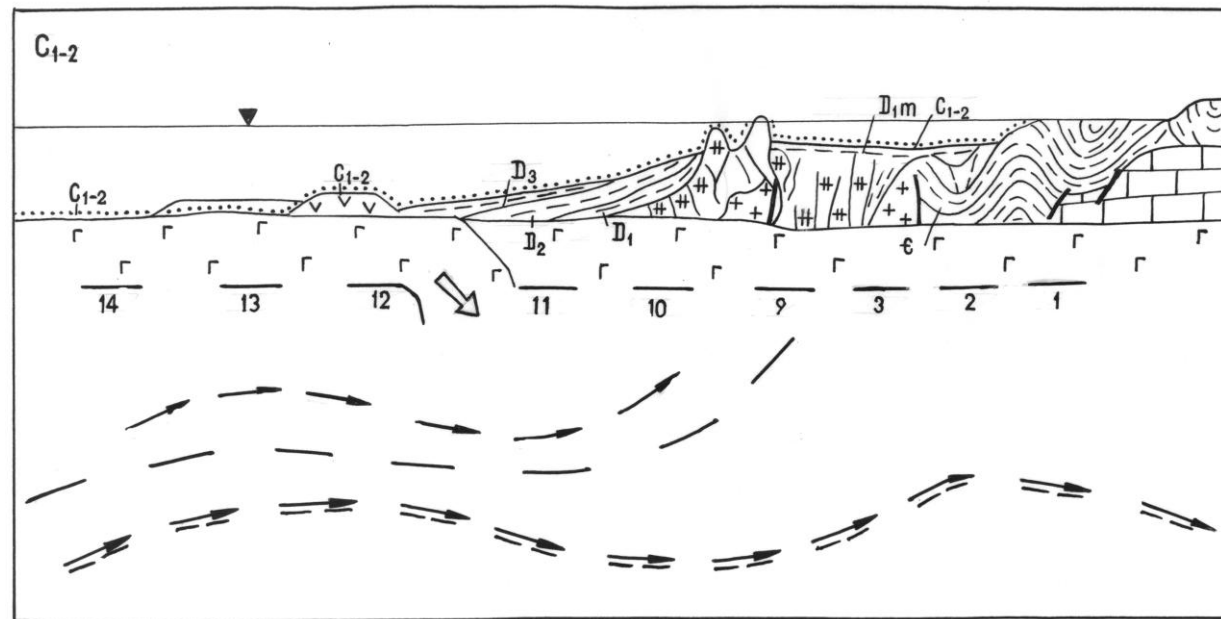


Рисунок 4.12 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Закрытие задугового бассейна с энсиалической дугой. Заложение новой зоны субдукции и формирование энсиматического блока с задуговым бассейном. Ранний-средний карбон. Условные обозначения см. на рис. 4.6

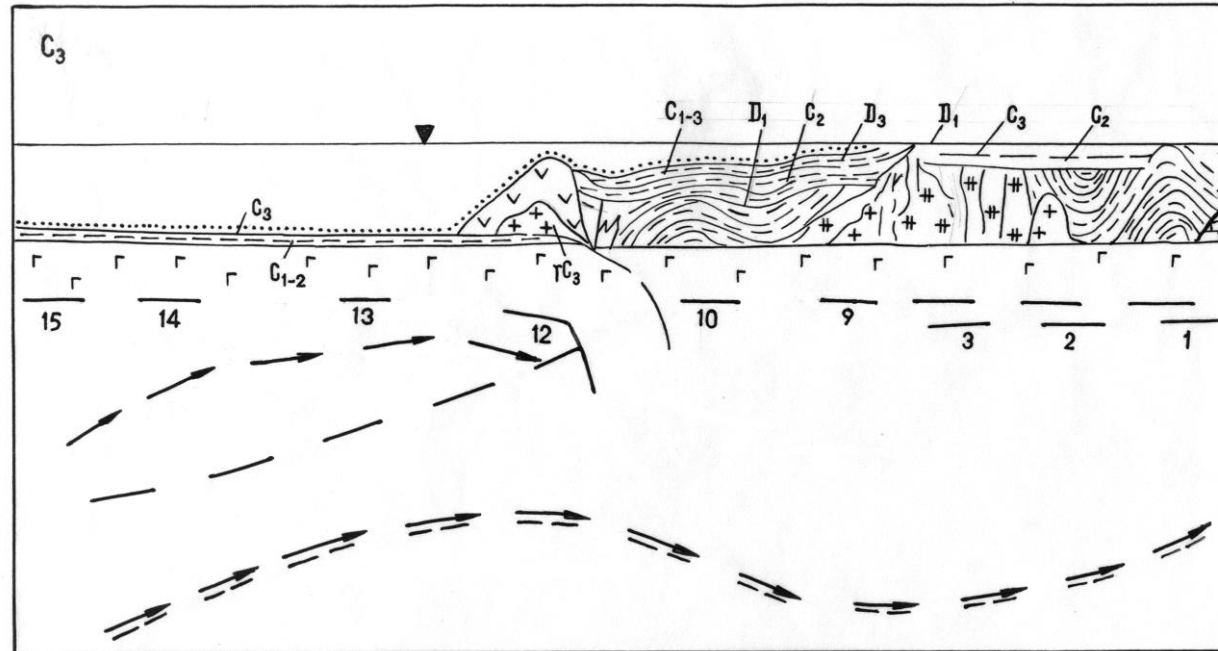


Рисунок 4.13 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Развитие островодужного вулканизма на энсиматическом блоке. Заложение зоны субдукции в задуговом бассейне. Смятие пород задугового бассейна в складки. Поздний карбон. Условные обозначения см. на рис. 4.6



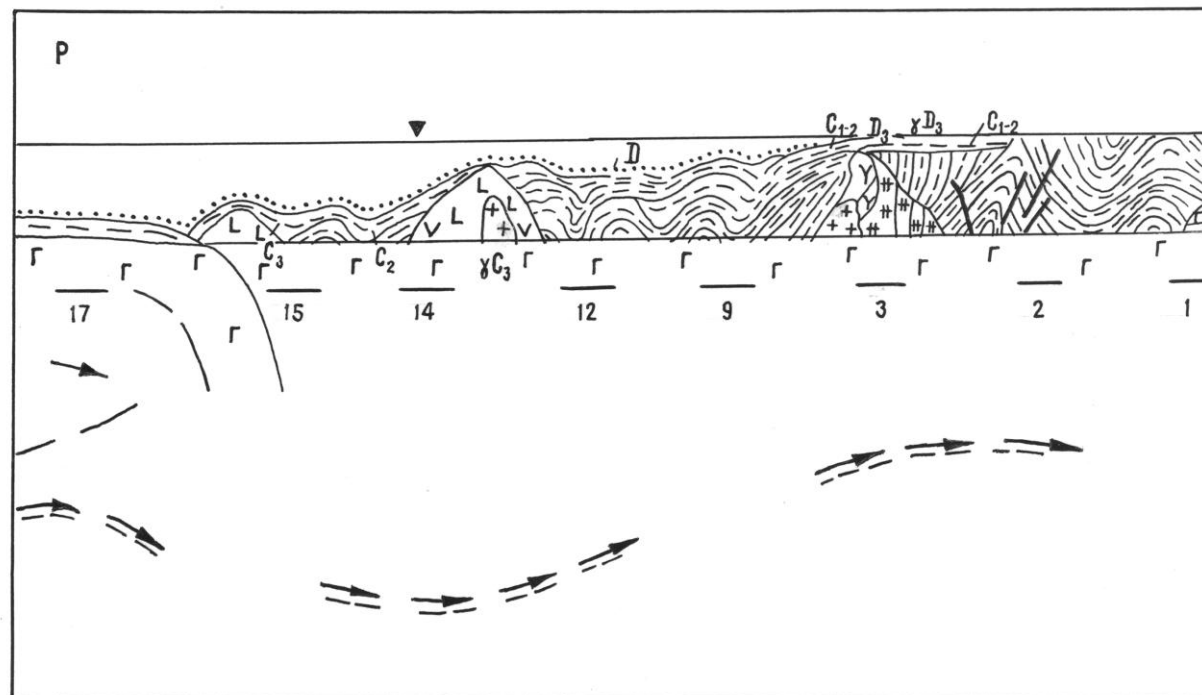


Рисунок 4.14 – Геодинамическая модель формирования Рудного Алтая. Преобразование Рудно-Алтайской зоны во внутриконтинентальную область. Сформированные в карбоне литосферные пластины задугового бассейна, надвинулись на энциалический блок. Пермь. Условные обозначения см. на рис. 4.6

Таблица 4.2 – Геодинамическая обстановка образования формаций Рудного и западных склонов Горного Алтая

| Возраст                                                           | Формация, субформация               | Геодинамическая обстановка образования формаций                                               |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| O <sub>2-3</sub> , Є <sub>3</sub> -O <sub>2</sub>                 | Флишоидная (верхняя терригенная)    | Остаточные структуры рифта СХ                                                                 |
| O <sub>2-3</sub> + S                                              | Известняково-терригенная            | Внутриплитный шельф                                                                           |
| D <sub>2</sub> gv-D <sub>3</sub> , D <sub>3</sub> -C <sub>1</sub> | Граувакковая, аспидная              | Верхняя часть глубоководного желоба                                                           |
| D <sub>1</sub> -D <sub>2e</sub>                                   | Терригенно-карбонатная              | Внутриплитный шельф                                                                           |
| D <sub>2</sub> gv-D <sub>3</sub> fr                               | Кремнисто-спилит-диабазовая         | Мантийная кора и осадочный слой                                                               |
| D <sub>1</sub> -D <sub>3</sub>                                    | Кварцевых кератофиров               | Энсиалические блоки                                                                           |
| n D <sub>3</sub>                                                  | Габбро-диабазовая                   | ПСХ в задуговом бассейне                                                                      |
| nq D                                                              | Габбро-плагиогранитовая             |                                                                                               |
| ggd D <sub>2</sub>                                                | Гранит-гранодиоритовая              |                                                                                               |
| g D <sub>3</sub>                                                  | Лейкократовых и биотитовых гранитов | Закрытие задугового бассейна, столкновение островной дуги с окраиной континентального выступа |
| ngdD <sub>3</sub> , ngdC <sub>1n</sub>                            | Габбро-диорит-гранодиоритовая       |                                                                                               |
| C <sub>1t</sub>                                                   | Флишевая                            | Глубоководный желоб, склон островной дуги                                                     |
| C <sub>1t</sub> -v                                                | Флишоидная с туффитами              | Глубоководный желоб у островной дуги                                                          |
| C <sub>1</sub> -v <sub>1</sub>                                    | Известняково-терригенная            | Задуговой бассейн                                                                             |
| C <sub>1</sub> v <sub>2</sub> -n                                  | Андезито-базальтовая терригенная    | Островная дуга и междуговой бассейн                                                           |
| g C <sub>1</sub>                                                  | Лейкократовых и биотитовых гранитов | Столкновение островных дуг с окраиной континентального выступа                                |
| C <sub>1n</sub> -C <sub>2</sub>                                   | Трахибазальт-трахиандезитовая       | Вулканическая дуга на шельфе                                                                  |
| gdgC <sub>2</sub>                                                 | Гранодиорит-гранитовая              | Закрытие окраинного моря, столкновение островной дуги с окраиной континентального выступа     |
| P                                                                 | Гранит-граносиенитовая              |                                                                                               |
| P                                                                 | Монцонитов, субщелочных гранитов    |                                                                                               |
| P                                                                 | Аляскитовых и субщелочных гранитов  |                                                                                               |
| P                                                                 | Трахибазальт-трахиандезитовая       | Вулкано-плутоническая дуга на шельфе                                                          |

Вулканизм проявляется в подводных и наземных условиях — на островах, вокруг которых происходит нормальное осадконакопление.

D<sub>2</sub>gv - D<sub>3</sub> — в окраинном море (восточная зона смятия) Рудного Алтая сформирован ПСХ (в ранних статьях микрорифт) и образованы комплексы габбро-диабазовой формации (залежи значительной протяженности, реже дайки, секущие складчатые структуры);

D<sub>3</sub> - C<sub>1</sub> — начиная с верхнего девона, в задуговом бассейне формируются флишоидные и флишевые толщи на склоне энсиалического блока и происходит внедрение лав андезито-дацитового состава (андезито-терригенная формация);

$C_2$ - $C_3$  – процесс закрытия задугового бассейна. Осадочные и вулканогенные породы смялись в складки, сформировались надвиговые и меланжевые структуры, образовались зоны обдукции в виде поясов метаморфизованных основных пород (Прииртышский и Маркакульский пояса). С закрытием окраинного моря происходит внедрение интрузий кислого состава, проявился палингенный гранитоидный магматизм;

$C_3$ - $P_2$  – внедрение в тело островной дуги Рудного Алтая и ее западного склона интрузий сиенитов, монцонитов, гранит-граносиенитов. Образование сиенитов объясняется тем, что движение океанической литосферной плиты еще не прекратилось, и в зону поддвига затягивались карбонатные породы или эвапориты, а силикатная магма, теряя кальций, насыщалась щелочами, хлором, др. рассеянными элементами, в результате получился сиенитовый раствор. В конце палеозоя – начале мезозоя блоки и пластины островодужной системы, сформировавшиеся на юге Сибирско-Балтийской плиты, сместились на западную окраину Горного Алтая.

#### **4.2 Формирование территории Лениногорско-Зыряновского района Рудного Алтая**

Структурно-формационные зоны Восточной зоны смятия, Рудного Алтая и прилегающих территорий, располагающихся к западу от анализируемого региона имеют северо-западную ориентировку. Такое расположение объясняется моделью формирования композиционной коры.

С помощью усовершенствованной модели формирования энсиалических островов и ПСХ в задуговом бассейне [85] рассмотрим преобразование внутриплитного шельфа на примере Лениногорско-Зыряновского района. Геолого-геоморфологическая оценка позволила выделить четыре тектонических блока: Большенарымский, Зыряновский, Малеевский и Лениногорско-Шемонаихинский. В процессе образования они последовательно отделялись от окраины шельфа.

Границы блоков представлены трансформными разломами II рода: рифт-зона субдукции. К зонам разломов, имеющих северо-восточное простирание, приурочены долины рек. Южная граница Большенарымского блока проходит по долине р. Большой Нарым, северная – в районе реки, протекающей в районе сёл Средигорного и Новополяковки. Точное расположение установить сложно, т.к. на этой территории развиты обширные массивы интрузивов, перекрывающие зоны трансформных разломов. Северная граница Зыряновского блока прослеживается по долине р. Бухтарма. Северная граница Малеевского блока проходит в районе р. Ульба на контакте пермского интрузивного массива и нижнепалеозойской флишоидной толщи. Северная граница Шемонаихинско-Лениногорского блока расположена за пределами Казахстана. Последовательность образования формаций и соответствующие геодинамические условия в Лениногорско - Зыряновском районе приведены в таблице 5.3.

Таблица 4.3 – Геодинамические условия образования Лениногорско-Зыряновского района

| Свита                                       | Возраст               | Формация                                                  | Интрузивные комплексы                                                       | Геодинамическая обстановка                                                                                                       |
|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                           | 2                     | 3                                                         | 4                                                                           | 5                                                                                                                                |
| Приревнюшинская                             | $D_1 pr$              | Кварц-кератофировая                                       |                                                                             | Преобразование внутриплитного шельфа в активную окраину плиты (формирование энсиалического блока)                                |
| Пугачевская                                 | $D_{1-2} pg$          |                                                           |                                                                             |                                                                                                                                  |
| Холзунская                                  | $D_{1-2} hl$          |                                                           |                                                                             |                                                                                                                                  |
| Крюковская, лениногорская                   | $D_{1e} - D_{2ef}$    |                                                           |                                                                             |                                                                                                                                  |
| Ильинская, сокольная, успенская, коргонская | $D_2$                 |                                                           |                                                                             |                                                                                                                                  |
| Ревнюшинская                                | $D_2 rv_1 - D_2 rv_2$ |                                                           |                                                                             |                                                                                                                                  |
| Онгудайская                                 | $D_2 on$              | Основных кислых и субщелочных вулканитов                  |                                                                             | Разломы в коре энсиалического блока, образовавшиеся при неравномерном поднятии коры вследствие субдукции под внутриплитный шельф |
| Маслянская                                  | $D_2 ms$              | Известняково-терригенная                                  |                                                                             | Задуговые и междуговые бассейны                                                                                                  |
| Кыстав-Курчумская                           | $D_2 kk$              | Карбонатно-углеродисто-терригенная                        |                                                                             | Зона надвига                                                                                                                     |
|                                             |                       |                                                           | Среднедевонский $\gamma\delta D_2$                                          | Закрытие окраинного моря, столкновение островной дуги с окраиной континента                                                      |
|                                             |                       |                                                           | Субвулканические и гипабиссальные $\mu\beta D_{2-3}$ , $\mu\lambda D_{2-3}$ | Рифтоподобные зоны микроконтинента                                                                                               |
| Белоубинская                                | $D_{2-3} bu$          | Граувакковая                                              |                                                                             | Склон островной дуги                                                                                                             |
| Хамирская                                   | $D_{2-3} hr$          |                                                           |                                                                             |                                                                                                                                  |
| Кремнюшинская                               | $D_3$                 | Вулканогенно-осадочная (осадочная терраса островной дуги) |                                                                             | Островная дуга                                                                                                                   |
|                                             |                       |                                                           | Белорецко-маркакольский $\beta\lambda D_3$                                  | ПСХ задугового бассейна                                                                                                          |

Продолжение таблицы 4.3

| 1                | 2                                 | 3                                                                                                                                  | 4                                                                                                                       | 5                                                                                                                                |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Пихтовская свита | D <sub>3</sub> -C <sub>1</sub> ph | Андезит-дацит-риолитовая и дацит-андезитовая субформации. Надвигание энсиматического блока на энсиалический блок                   |                                                                                                                         | Островная дуга                                                                                                                   |
| Джайдакская      | D <sub>3</sub> -C <sub>1</sub> dz | Флишоидная с туффитами                                                                                                             |                                                                                                                         | Склон островной дуги, глубоководный желоб                                                                                        |
| Такырская        | D <sub>3</sub> -C <sub>1</sub> tk | Аспидно-углеродистая                                                                                                               |                                                                                                                         | Поддвигаемая микроплита                                                                                                          |
|                  |                                   |                                                                                                                                    | Субвулканические гипабиссальные $\mu\beta$ D <sub>3</sub> -C <sub>1</sub> и $\mu\lambda$ D <sub>3</sub> -C <sub>1</sub> | Разломы в коре энсиалического блока, образовавшиеся при неравномерном поднятии коры вследствие субдукции под внутриплитный шельф |
| Ларихинская      | C <sub>1</sub> lr                 | Базальты, андезиты, дациты-риолиты и их туфы, алевролиты, аргиллиты известково-углистые, песчаники, известняки, сланцы филлитовые. |                                                                                                                         | Задуговой бассейн в зрелую стадию развития                                                                                       |
| Тургусунская     | C <sub>1</sub> tg                 | Известняково-терригенная                                                                                                           |                                                                                                                         | Задуговой и междуговой бассейн на стадии закрытия                                                                                |
| Балгынская       | C <sub>1</sub> bl                 |                                                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                  |
| Бухтарминская    | C <sub>1</sub> bh                 |                                                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                  |
| Ульбинская       | C <sub>1</sub> ul                 |                                                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                  |
|                  |                                   |                                                                                                                                    | Бухтарминский $\lambda\pi$ C <sub>1</sub>                                                                               | Закрытие задугового бассейна. Образование кислых интрузий из осадков C <sub>1</sub> , затянутых в желоб задугового бассейна      |
|                  |                                   |                                                                                                                                    | Прииртышский $\gamma\delta\nu$ C <sub>1</sub>                                                                           |                                                                                                                                  |
|                  |                                   |                                                                                                                                    | Кедровско-ларихинский $\beta\pi$ C <sub>1</sub>                                                                         |                                                                                                                                  |
|                  |                                   |                                                                                                                                    | Змеиногорский $\gamma\delta\nu$ C <sub>2-3</sub>                                                                        |                                                                                                                                  |
| Гремячинская     | C <sub>3</sub> -P <sub>1</sub>    | Терригенная                                                                                                                        |                                                                                                                         | Часть передового прогиба                                                                                                         |
|                  |                                   |                                                                                                                                    | Калбинский $\gamma$ P <sub>2</sub>                                                                                      | Деформируемая островная дуга                                                                                                     |
|                  |                                   |                                                                                                                                    | Миролюбовский $\gamma\beta\pi$ P <sub>2</sub> -T <sub>1</sub>                                                           | Надвигание островной дуги на окраину континента                                                                                  |

Судя по современной ориентировке девонских складчатых структур энциалического блока Рудного Алтая, литосферные пластины и блоки, сложенные кварц-кератофировой формацией, синхронно со своим образованием смещались, испытывая некоторое вращение на северо-запад с южной окраины Сибирской части плиты, под влиянием результирующего движения. Этот вывод сделан на основании того, что складчатые структуры, сформированные в породах кварц-кератофировой формации, имеют различное простираение.

Граница, отделяющая Рудный Алтай от Восточной зоны смятия, в плане имеет вид ломаной линии. Это означает то, что в процессе закрытия задугового бассейна блоки сдвигались по-разному: блоки восточной окраины Рудного Алтая – Большенарымский и Малеевский надвинулись на территорию задугового бассейна; а на Зыряновский и Шемонаихинско-Лениногорский блоки надвинулись пластины задугового бассейна. Этот процесс происходил следующим образом. Сформированные в карбоне в заключительную стадию развития задугового бассейна отложения терригенно-карбонатной формации, будучи слабо литифицированными, надвинулись на те энциалические блоки, которые располагались над уровнем океана. Они образовали *тургусунскую* ( $C_1 tg$ ); *балгынскую* ( $C_1 bl$ ); *бухтарминскую* ( $C_1 bh$ ); *ульбинскую* ( $C_1 ul$ ) *свиты*. Поскольку, создание кварц-кератофировой формации сопровождалось образованием складок, то в замках антиклинальных структур возникали зоны растяжения, которые принимаются за глубинные разломы. Антиклинальные структуры слагали положительные формы рельефа, т.е. рельеф был прямой (структурный). Но, находясь в подводных условиях, отложения кварц-кератофировой формации, не подвергались денудационным процессам. Поэтому, испытавшие диагенез упомянутые выше отложения терригенно-карбонатной формации каменноугольного возраста, надвигаясь на структуры, сложенные кварц-кератофировой формацией, облекали их, повторяя девонский рельеф, не испытывая пликативных преобразований. Под действием гравитационных сил, покровные пластины смещались с выпуклых частей рельефа в понижения. Иногда на более крутых участках, смещение сопровождалось опрокидыванием пластин. Смещаясь в депрессии каменноугольные отложения, сформировали увеличенную мощность, и нарушенную стратиграфическую последовательность. Поэтому, ожидаемый разрез каменноугольных отложений в депрессиях:  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_1$ . Тогда как на положительных формах рельефа должны сохраниться только нижнекаменноугольные отложения, имеющие меньшую мощность.

Относительно образования разрывных нарушений в каменноугольных отложениях: скорее всего, это границы литосферных пластин и блоков, которые, уже, будучи литифицированными, смещались на северо-запад под давлением смежных с ними пластин и блоков. В породах были также сформированы литогенетические трещины и трещины растяжения, которые образовались при гравитационном смещении пластин. Поэтому в породах, сложенных каменноугольными образованиями, может быть развит грабеново-горстовый рельеф.

Интрузии пермского возраста обусловлены последней стадией жизни закрывающегося задугового бассейна, для которой характерно внедрение интрузий с увеличением кислотности, тогда как при формировании ПСХ в коре задугового бассейна фазовое внедрение интрузий происходит с уменьшением кислотности [177]. После перми подвижки имели меньшую амплитуду, а магматизм проявлялся на сравнительно малых участках за пределами описываемого района, поскольку субдукция уже не оказывала влияния на процесс магмообразования. Этот факт доказывает то, что в мезозое энциалический блок Рудного Алтая с прилегающей к нему территорией Восточной зоны смятия уже занял западную окраину Горного Алтая. Субпараллельное расположение границ крупных литосферных блоков, свидетельствует о последовательном их перемещении с мест формирования под влиянием результирующего северо-западного движения коровых пластин. Совпадение простираций структурно-формационных зон Рудного Алтая и Восточной зоны смятия можно объяснить влиянием результирующего движения на уже сформировавшиеся структурно-формационные зоны, а несовпадение ориентировки структур внутри структурно-формационных зон является свидетельством смещения литосферных пластин, а не литосферных плит, как это отмечается исследователями. То есть. Литосферные пластины на активной окраине являются более мобильными, чем сами плиты и пластины, слагающие центральные части континентальных выступов. Исходя из этого, мы делаем вывод о синхронном образовании и смещении структурных элементов под влиянием результирующего движения [85].

На основании теоретической концепции предлагаемой во втором разделе уточнена геодинамическая модель формирования территории Казахстана. Выяснение геодинамических условий образования геологических формаций основывалось на введении различий в понятия «возраст пород» и «время формирования композиционной коры». С помощью программы MapInfo составлена геодинамическая карта и выяснена последовательность формирования композиционной коры. Такой подход позволил объяснить причины возникновения сложностей у предыдущих исследователей при палеореконструкциях геологического прошлого, более далекого, чем девонский период.

Другой вопрос относился к выяснению причин сложного развития геологических структур. Выделение геологических формаций, имеющих доказанный раннекембрийский возраст, позволило начать отсчет времени образования новой мантийно-композиционной плиты.

Анализ геологических формаций позволил объяснить причины образования метаморфических массивов, принимаемых за докембрийские. Совместное влияние субмеридионально и субширотно развивающейся мантийной конвекции, начиная с силура до начала мезозоя, способствовало сдвигению формирующихся коровых пластин с юго-востока на северо-запад. Это привело к формированию сдвиговых границ ориентированных в северо-западном направлении. Начиная с мезозоя, формируемые на южной окраине плиты коровые пластины сдвигались на север, образуя покровные структуры.

Это позволяет объяснить причины сложного строения коры, сформированной в палеозое. Проведенная структурно-геоморфологическая оценка Рудного Алтая и Восточной зоны смятия, позволила установить, что перемещение блоков Рудного Алтая и Восточной зоны смятия на западную окраину Горного Алтая происходило под влиянием результирующего движения уже литифицированных коровых пластин и блоков (рисунки 4.5-4.15).



## **5 ОРГАНИЗАЦИЯ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Уточненная теоретическая концепция формирования композиционной коры и методика геодинамического анализа, приведенные в настоящей работе, позволяют обозначить основные направления в организации работ по переинтерпретации геологического материала для геодинамического районирования; прогноза месторождений полезных ископаемых; тектоники горнорудных районов; прогноза развития техногенных процессов.

Развитие этих направлений зависит от геодинамического анализа. Недоучет геодинамического анализа приводит к большим капиталовложениям в поиски месторождений, скрытых на глубине, к катастрофическим последствиям при разработке месторождений.

Наш опыт изучения документации горнодобывающей отрасли показал, что изучению инженерно-геологических процессов не уделяется должного внимания. В том случае, если на производстве есть инженерно-геологический отдел, нет литературы при помощи, которой следует проводить эти исследования. Поэтому в этом разделе мы приводим методику изучения и прогнозирования инженерно-геологических процессов на месторождениях, которая была разработана на основании полевых исследований месторождений Жанатас, Коксу, карьеры Северо-Западный (Жанатасская группа месторождений), Зыряновский, подземный рудник Сарбайский, Дальнегорское. Результаты исследований освещены в научно-исследовательских отчетах [179-194], обсуждение проводилось на международных конференциях, в статьях и монографиях, опубликованных в различные годы [195-223].

### **5.1 Влияние геодинамики на развитие процессов**

Горно-геологические условия и физико-механические свойства пород, слагающие массивы горных пород, predetermined геодинамической обстановкой, изменявшейся на протяжении истории развития региона. Все происходящие изменения, находят отражение в вещественном составе и структурно-текстурных особенностях горных массивов и слагающих их пород.

Восстановление геодинамических условий формирования региона, позволяет понять не только тектонику горнорудных районов, но и осуществить прогноз размещения МПИ и развития техногенных процессов. Структурно-текстурные особенности какого-либо блока позволяют уточнить направление преобладающих напряжений на момент формирования горнорудного объекта.

В процессе преобразования внутриплитного шельфа в активную окраину плиты, происходит формирование композиционной коры за счет надвигания на окраину плиты новых блоков при одновременном удалении литосферной плиты от зоны спрединга. Поэтому с течением времени надвигающиеся на окраину континента пластины постепенно окажутся вдали от активной окраины плиты,

где происходит аккреция континента литосферными пластинами, следовательно, вновь причленяющиеся к континенту пластины оказывают давление на те пластины, которые нарастили окраину ранее.

Давление осуществляется с разных сторон не одновременно и продолжительность сдвигающих напряжений различна [167,168, 202]. Таким образом, сдвигание пластин на окраине континента способствует росту напряжений в литосферных пластинах, располагающихся в центральной части континента. Разрядка напряжений в виде землетрясений происходит на границах перемещающихся пластин (блоков) и фиксируется зонами разломообразования и трещиноватости.

При проектировании горных предприятий необходимо учитывать тектоническую ситуацию данного региона, и расчет устойчивых углов бортов и уступов карьеров необходимо производить с учетом тектоники месторождения. Тектоническое районирование и расчет параметров тектонических блоков осуществляется методом конечных элементов, что позволяет определить направление сжимающих усилий, оказывающих влияние на смещение литосферных пластин [203, 204]. Силы, воздействующие на узлы элементов, производят его смещение.

*Узловые точки литосферных пластин (блоков) являются зонами концентрации напряжений, а зоны концентрации напряжений считаются сейсмоопасными. Это необходимо учитывать при проектировании горных предприятий.* Поэтому для решения прикладных задач необходимо выполнить геодинамическое районирование.

## **5.2 Организация работ с использованием геодинамического анализа**

К настоящему времени в геологии накоплен огромный фактический материал, необходимый при переинтерпретации с позиций теории тектоники плит для решения задач, связанных с прогнозом, поисками, разведкой и разработкой МПИ. Основные этапы и особенности организации работ приведены в таблице 5.1.

## **5.3 Прогноз размещения рудных компонентов в земной коре Казахстана на геодинамической основе**

В разделе 4 восстановлена последовательность формирования композиционной коры, слагающей территорию Казахстана. Объясняются геодинамические условия образования геологических формаций и причины перемещения фрагментов структурных элементов, сложенных этими формациями.

В этой главе на основании представлений о выявленных геодинамических обстановках прошлого и условиях формирования полезных

Таблица 5.1 – Основные этапы и особенности организации работ, основанные на геодинамическом анализе для решения геологических задач

| Задача<br>Номер этапа | Геотектоника и геодинамика                                                                                                                                                                                                                                          | Прогноз, поиски и разведка МПИ                                                                                                                                              | Инженерно-геологическая оценка и организация инженерно-геологического мониторинга                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                     | Анализ и переинтерпретация геологических материалов, опубликованных в томах «Геология СССР», изучение научных публикаций и фондовых материалов для восстановления исторической последовательности развития, геодинамических условий формирования изучаемого региона |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 2                     | Геодинамическая модель формирования изучаемой территории. Выделение литосферных пластин и блоков композиционной коры                                                                                                                                                | Предварительный прогноз размещения МПИ, на основании геодинамического анализа и проверка прогноза на известных месторождениях                                               | Предварительный прогноз развития техногенных процессов, на основании региональных материалов и геодинамического анализа                                                                                                                                                                            |
| 3                     | Анализ геодинамических условий формирования пликтивно-дизъюнктивных нарушений внутри блоков и пластин                                                                                                                                                               | Построение геодинамической модели формирования района                                                                                                                       | Разработка методов по уменьшению вредного техногенного воздействия на геологическую среду                                                                                                                                                                                                          |
| 4                     | Анализ пространственной ориентировки пликтивно-дизъюнктивных нарушений внутри блоков и пластин                                                                                                                                                                      | Разработка рекомендаций по поискам МПИ, скрытых в глубоких горизонтах, определение предполагаемого месторасположения рудопроявлений, проведение детальных разведочных работ | Сбор и обработка геологических материалов полученных на стадии разведочных работ. Осуществляется прогноз развития инженерно-геологических процессов с указанием на карте мест развития процессов. Для каждого конкретного процесса разрабатывается программа наблюдений, задается сеть мониторинга |
| 5                     | Построение геодинамической карты с учетом тектонических особенностей изучаемой территории. Геодинамическое районирование                                                                                                                                            | Сбор и обработка геологических материалов полученных при детальных разведочных работах. Конкретизируется местоположение и форма рудных тел                                  | Постоянное наблюдение и одновременная оценка фактического прогнозируемого состояния геологической среды                                                                                                                                                                                            |

ископаемых в современных обстановках, объясняются причины их неравномерного распределения на территории Казахстана. Многие геологические формации, распространенные на территории Казахстана, образовались в результате рециклинга. Каждый фрагмент композиционной коры представляет коровые пластины. Для каждой пластины, в зависимости от условий образования слагающей ее геологической формации, механизма сочленения с другими фрагментами и стадии рециклинга могут быть сформированы различные виды полезных ископаемых, в работе дан прогноз возможных видов МПИ, характерных для каждой геологической формации. В приложении на CD, с помощью ГИС приведен прогноз рудных компонентов, характерных для каждой геологической формации (Приложение 16, 17). Прогноз выполнен с учетом работ [65; 35; 17] на геодинамической карте масштаба 1: 1 500000. Она является основой для прогноза МПИ для карт более крупных масштабов, поскольку на них можно уточнить пликативные и дизъюнктивные структуры, характер границ выделяемых пластин и блоков, механизм и последовательность формирования композиционной коры.

### **5.3.1 Геодинамические условия образования МПИ на примере Рудного Алтая**

Для проверки прогноза размещения МПИ, выполненного с позиций теории тектоники плит, используем Рудный Алтай (таблица 5.2). К позднему девону в задуговом бассейне (будущая Восточная зона смятия) сформировались Cu-Zn колчеданные месторождения в базальтах, Ti-магнетитовые в габброидах, Pb-Zn-баритовые (тип Куроко) [173]. На склоне энсиалического блока в окраинном море образовались полиметаллические колчеданные Ag и Au (тип Куроко) месторождения, центральной части дуги золото-серебряные с теллуридами, полиметаллические ксенотермальные с оловом и вольфрамом. В задуговом бассейне существовали условия для формирования пул-апарт структур, а с ними может быть связано формирование эксгальационно-осадочного редкометалльного (U, Mo и Sn железорудного с высокими концентрациями редких и редкоземельных элементов) оруденения, поэтому вполне вероятно, что в восточной зоне смятия могли быть сформированы месторождения вольфрама, молибдена и олова. Вполне вероятно, что в позднем девоне в районе Лениногорско-Шемонаихинского и Малеевского блоков (там, где распространены породы нижнего палеозоя), в рассолах и металлоносных осадках осевой зоны ПСХ задугового бассейна, сформировались руды Cu, Zn, Ag и др.

В юго-восточной (в современных координатах) части водообмен между задуговым бассейном и океаном был лучше, чем в северо-западной. Очевидно, на процесс водообмена повлияло положение энсиалического блока относительно поверхности океана. Если блок располагается ближе к поверхности океана, то водообмен затруднен и в задуговом и междуговом бассейнах создаются условия осолоняющейся лагуны. Позже, при закрытии моря рассолы повлияли на состав интрузий. Сформировались сиениты,

Таблица 5.2 – Прогноз размещения полезных ископаемых, основанный на анализе различных геодинамических обстановок Рудного Алтая

| Свита, возраст, интрузивный комплекс                                                                                                            | Формации.<br>Геодинамическая обстановка                                                                                                   | Прогнозируемый вид ПИ                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                               | 2                                                                                                                                         | 3                                                                                                 |
| Холзунская $D_{1-2} hl$ , пугачевская $D_{1-2} pg$ , приревнюшинская $D_1 pr$                                                                   | Кварц-кератофировая. Активная окраина литосферной плиты                                                                                   | Au-Ag с теллуридами; полиметаллические с Sn и W                                                   |
| Коргонская $D_2$ , успенская $D_2$ , ревнюшинская $D_2 rv_1-D_2 rv_2$ , ильинская, сокольная $D_2$ , крюковская, лениногорская $D_{1e}-D_{2ef}$ |                                                                                                                                           |                                                                                                   |
| Онгудайская $D_2 on$ .                                                                                                                          |                                                                                                                                           |                                                                                                   |
| Маслянская $D_2 ms$ .                                                                                                                           | Карбонатно-терригенная субформация, кварц-кератофировой формации. Активная окраина плиты                                                  | Полиметаллические ксенотермальные с Sn и Au;                                                      |
| Субвулканические и гипабиссальные $\mu\beta D_{2-3}$ , $\mu\lambda D_{2-3}$                                                                     | Внедрение интрузий по разломам в кору энсиалического блока. Разломы образуются вследствие неравномерного поднятия коры в период субдукции |                                                                                                   |
| Кыстав-Курчумская $D_2 kk$ .                                                                                                                    | Карбонатно-углеродисто-терригенная. Поддвигаемая микроплита                                                                               | Hg, S-Hg и Sb стратиформные залежи и поднадвиговые штокверки в карбонатных породах и листовенитах |
| Среднедевонский комплекс $\gamma\delta D_2$                                                                                                     | Гранитоиды. Активная окраина андийского типа                                                                                              | U-Mo Мо инфильтрационные в связи с кислыми экстрюзиями                                            |
| Хамирская $D_{2-3} hr$ , белобуинская $D_{2-3} bu$                                                                                              | Граувакковая. Склон островной дуги                                                                                                        | Литифицированные россыпи в терригенных осадках                                                    |
| Кремнюшинская $S_2-D_1 kr$ ( $D_3$ ) возраст принят на основании геодинамического анализа                                                       | Вулканогенно-терригенная. Островная дуга (осадочная терраса островной дуги)                                                               | Полиметаллические, Mg, Fe, Ti                                                                     |
| Белорецко-маркакольский $\beta\pi D_3$                                                                                                          | Диабазовые порфириды, диабазовые, габбро-диабазовые, габбро, редко серпентиниты. ПСХ задугового бассейна.                                 | Cu-Zn колчеданные в базальтах; Ti-магнетитовые в габброидах; Pb-Zn-баритовые (тип Куроко)         |
| Пихтовская $D_3-C_1 ph$                                                                                                                         | Андезит-дацит-риолитовая и дацит-андезитовая субформации. Надвигание энсима-                                                              | Cu-порфировые с Au; Au-Te и Au в андезитах и диоритах                                             |

Продолжение таблицы 5.2

| 1                                                                                                            | 2                                                                                                                                                                            | 3                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                              | тического блока на энси-<br>алический блок                                                                                                                                   |                                                                              |
| Джайдакская $D_3-C_1dz$                                                                                      | Глубоководная впадина.<br>Флишоидная с туффитами                                                                                                                             | Литифицированные<br>россыпи                                                  |
| Такырская $D_3-C_1tk$                                                                                        | Аспидно-углеродистая.<br>Поддвигаемая микроплита                                                                                                                             | U в черносланцевой толще                                                     |
| Субвулканические ги-<br>пабиссальные интрузии<br>$\mu\beta D_3-C_1$ и $\mu\lambda D_3-C_1$                   | Внедрение интрузий по<br>разломам в кору энсиали-<br>ческого блока. Разломы<br>образуются вследствие не-<br>равномерного поднятия<br>коры в период субдукции                 | Ti-магнетитовые в габбро-<br>идах                                            |
| Ларихинская ( $C_1lr$ )                                                                                      | Базальты, андезиты, дациты-<br>риолиты и их туфы, алевро-<br>литы, аргиллиты известко-<br>во-углистые, песчаники, из-<br>вестняки, сланцы филлито-<br>вые. Закрытие бассейна | Полиметаллические<br>колчеданные с Ag и Au (тип<br>Куроко)                   |
| Тургусунская ( $C_1tg$ ),<br>балгынская ( $C_1bl$ ),<br>бухтарминская ( $C_1bh$ ),<br>ульбинская ( $C_1ul$ ) | Известняково-терригенная.<br>Окраинное море на стадии<br>закрытия, взаимное переме-<br>щение литосферных пластин<br>и блоков                                                 |                                                                              |
| Бухтарминский $\lambda\mu C_1$                                                                               | Субвулканические и гипа-<br>биссальные интрузии квар-<br>цевых порфиров, плагио-<br>гранит и гранит-порфиров.<br>Закрытие окраинного моря                                    |                                                                              |
| Кедровско-ларихинский<br>$\beta\mu C_1$                                                                      | Гипабиссальные интрузии<br>габбро, габбро-диабазов,<br>диоритов и диабазовых<br>порфиритов. Закрытие окра-<br>инного моря                                                    | Ti-магнетитовые в габбро-<br>идах                                            |
| Иртышский $\gamma\delta\nu C_1$                                                                              | Граниты, гарносиениты,<br>гранодиориты, габбро, габ-<br>бро-диабазы, серпентиниты.<br>Закрытие окраинного моря                                                               | Ti-магнетитовые в габбро-<br>идах, полиметаллические<br>колчеданные с Sn и W |
| Змеиногорский $\gamma\delta\nu C_{2-3}$                                                                      | Надвигание островной дуги<br>на окраину континента                                                                                                                           | Au-Ag с Mn, Pb и Cu                                                          |
| Гремячинская $C_3-P_1$ ,                                                                                     | Терригенная. Часть<br>передового прогиба                                                                                                                                     | Литифицированные<br>россыпи                                                  |
| Калбинский комплекс $\gamma P_2$                                                                             | Деформируемая островная<br>дуга                                                                                                                                              | Au-Ag с Mn, Pb и Cu                                                          |
| Миролюбовский комплекс<br>$\gamma\beta\mu P_2-T_1$                                                           | Надвигание островной дуги<br>на окраину континента                                                                                                                           |                                                                              |

граносиениты, внедрившиеся на больших площадях Малеевского блока и в меньшем количестве в Лениногорско-Шемонаихинском блоке. В южной части Рудного Алтая сиениты не распространены и это указывает на нормальные условия водообмена между бассейном окраинного моря и океаном [173].

Размещение полиметаллов, связанных с кварц-кератофировой формацией тесно связано с формированием композиционной коры. Образование кварц-кератофировой формации, сопровождалось смятием исходных пород в складки. В осевые части антиклинальных складок по трещинам растяжения, развившимся в осевых частях складок, происходило внедрение гидротермальных рудных растворов. Как было сказано в предыдущей главе, сформированные в карбоне в последнюю стадию развития задугового бассейна еще слабо литифицированные пластины, надвинулись на островную дугу, образовав покровы, которые, повторяя девонский рельеф, облекли его. Смещение покровных пластин с возвышенных участков в понижения, привело к увеличению мощности карбонатно-терригенной формации и нарушению нормального стратиграфического залегания.

### **5.3.2 Рекомендации для выделения площади на проведение поисковых работ в Соловьевском блоке Рудного Алтая**

Необходимо также отметить, то, что поисковые признаки на полиметаллы, расположенные на глубине в различных тектонических блоках не совпадают, поскольку поведение выделяемых блоков, из которых состоит Рудный Алтай, в процессе формирования композиционной коры, было различным. Поэтому модель формирования в каждом конкретном случае требует уточнения.

При проведении поисково-разведочных работ на Соловьевском листе (к юго-востоку от Зыряновска) необходимо обратить внимание на положительные формы рельефа, перекрытые отложениями терригенно-карбонатной формации. Это указывает на погребенный прямой рельеф, поскольку, инверсионный рельеф мог быть сформирован только в том случае, если отложения кварц-кератофировой формации в девоне и карбоне располагались выше уровня океана и подверглись денудации, что привело к обнажению ядер антиклиналей, как это наблюдается на Зыряновском месторождении. Энциалические блоки Рудного Алтая, в основном находились в подводных условиях.

Кроме того, на блоках Рудного Алтая в карбоне в некоторых местах проявился островодужный вулканизм, который был сформирован в результате разогрева основания блоков продвигающейся под ними мантийной коры. Поэтому в основном все девонские структуры, сложенные кварц-кератофировой формацией, оказались погребенными под молодыми образованиями, что способствовало их сохранению [85].

Учитывая геодинамические и геотектонические особенности формирования литосферных пластин и блоков, слагающих Соловьевский блок Рудного Алтая, мы предлагаем выполнить следующую последовательность проведения работ:

а) по карте и космоснимкам необходимо изучить участки, сложенные породами терригенно-карбонатной формации (*тургусунская* ( $C_1 tg$ ); *балгынская* ( $C_1 bl$ ); *бухтарминская* ( $C_1 bh$ ); *ульбинская* ( $C_1 ul$ ) свиты);

б) выявить положительные формы рельефа в местах распространения этой формации;

в) изучить участки опрокинутого залегания пород терригенно-карбонатной формации и выявить те места, откуда произошло их смещение (где-то рядом должна быть положительная форма рельефа, причем рельеф должен быть довольно крутым);

г) наметить линию профиля, проходящую через положительные формы рельефа, где распространена терригенно-карбонатная формация;

д) построить геоморфологический профиль по топографической основе. Геоморфологический профиль строится с увеличением вертикального масштаба, затем либо по элементам залегания (если они достоверно замерены), либо параллельно рельефу нанести покровные пластины каменноугольных отложений терригенно-карбонатной формации, причем на положительных формах они будут иметь минимальную мощность, а в отрицательных формах рельефа – максимальную.

Мощность каменноугольных отложений в положительных формах рельефа, по-видимому, можно уточнить геофизическими методами. Для обнаружения границ пластин, а также кровли девонских отложений необходимо использовать сейсмические методы, а гравиразведка поможет найти места для бурения. Также надо помнить, что на процесс формирования месторождений оказывали влияние интрузии: во-первых, изменения на контакте с вмещающими породами, содержащими рудное вещество, а во-вторых, минерализация и состав самих интрузий (кислых, средних), возникших за счет **рециклинга осадков**, (рециклинг – переплавление осадков в зоне поглощения плит) обогащенных рудным веществом [85].

#### **5.4 Районирование территории Казахстана по режиму быстроизменяющихся факторов формирования и активности опасных геодинамических процессов**

Для объектов горнодобывающей промышленности свойственно разнообразное воздействие на геологическую среду, это зависит от способа разработки и горно-геологических условий месторождения. Проявление тех или иных техногенных процессов зависит от горно-геологических условий месторождения и способа его отработки. Горно-геологические условия предопределены геодинамическими обстановками, которые изменялись на протяжении всей истории развития региона. Многие из месторождений в настоящее время оказались выработанными: Ачисай, Миргалимсай, Текели, Белоусовское, Риддер-Сокольное, Зыряновское, Жезказган, Коунрад, Восточный Коунрад, Акшатау, Караоба, Майкаин, Степняк, Жолымбет и др., оставшиеся запасы находятся на больших глубинах, и это способствует проявлению специфических процессов, характерных именно для глубоких



горизонтов. Но, как показывает практика, инженерно-геологическому анализу на различных стадиях проектирования и разработки месторождений не уделяется должного внимания.

На основании собственного опыта, материалов по эксплуатации горнорудных объектов [179-194] и развития природных процессов, нами составлена карта районирования и легенда к карте. На карте выделены области по темпу развития различных быстроразвивающихся процессов (показаны на карте цветом заливки):

- области быстрого изменения геологической среды. Изменения геологической среды происходят в часы и сутки;
- области относительно быстрого изменения геологической среды. Изменение геологической среды происходит по сезонам;
- области медленного изменения геологической среды.

Для прогноза развития техногенных процессов использована классификация опасных геодинамических процессов, формирующихся под влиянием техногенного воздействия, не зависимо от способа воздействия на среду. В основу классификации положен принцип прогноза развития и возможность управления процессами [195-199]:

**Первая категория (I)** - развитие трудно прогнозируемых в пространстве и времени, неуправляемых процессов, которые характеризуются внезапностью и катастрофичностью проявления. Последствия этих процессов - жертвы, нарушение эксплуатации инженерных сооружений. К ним относятся:

**Вторая категория (II)** - развитие процессов, которые можно прогнозировать. Развиваются медленно. Предотвратить их сложно ввиду большого площадного развития или значительных капиталовложений.

**Третья категория (III)** – локальное развитие процессов, которые можно прогнозировать, уменьшать или предотвращать их отрицательное воздействие.

Несмотря на оригинальность предложенной классификации развития инженерно-геологических процессов, к большому сожалению, при составлении карты районирования по режиму быстроизменяющихся факторов не учитывалось влияние геодинамики на формирование и особенности строения структурных элементов земной коры, к которым приурочены месторождения, а также отсутствие точной привязки месторождений и достоверной информации по площадям, занимаемым месторождениями. Поэтому прогноз развития инженерно-геологических процессов на месторождениях, нанесенных на карту, является приближенным и однообразным.

В качестве примера прогноза развития инженерно-геологических процессов, проведенного с учетом геодинамики формирования композиционной коры рассмотрим Зырянское, Соколовское, Жанатасское и Акбастау-Кызылсайское месторождения.

#### **5.4.1 Прогноз развития техногенных процессов на основе геодинамического анализа при разработке месторождений полезных ископаемых**

**Зыряновское месторождение Рудного Алтая.** В связи с тем, что Зыряновский карьер находится на стадии ликвидации, автором выполнена оценка инженерно-геологических условий карьера для определения степени опасности этого объекта для г. Зыряновска [192, 194, 213, 214].

Геодинамический режим формирования региона, тектоника, и современные климатические условия, позволяют сделать следующие выводы: 1) В раннем девоне породы кварц-кератофировой формации, образовали антиклинальную структуру; 2) Ядро складки нарушено не разломами субширотной ориентировки, как принято считать, а трещинами разрыва, которые возникли при формировании антиклинальной складки; 3) Кливаж образовался при сжатии жестких сланцеватых пород в то время, когда происходило закрытие задугового бассейна; 4) Месторождение находится в зоне гипергенеза; 5) Обводнение коренных пород обусловлено гидравлической связью поверхностных отложений и коренных пород, при неравномерном перекрытии последних водоупорными глинистыми отложениями.

Из данных о геологическом строении месторождения выбраны главные сведения, на которых основывается прогноз: 1) Месторождение сложено породами скальными и рыхлыми; 2) Скальные породы прочные, не растворимые; 2) Породы ревнюшинской свиты образуют антиклинальную складку с крутыми углами падения крыльев сторону массива; 3) Ориентировка складки субширотная; 4) Ориентировка разломов субширотная; 5) Сланцы ревнюшинской свиты имеют секущий кливаж. 6) Палеозойские породы слабо водоносны; 7) Рыхлые породы подразделяются на водопроницаемые и водоупорные; 8) Суточный слой осадков однопроцентной обеспеченности, составляет 120 мм, Максимальные снегозапасы, 141 мм; 9) Скальные породы, Зыряновского месторождения относятся к крепким.

На основании вышеизложенного можно предположить следующее:

1) *При разработке месторождения крылья антиклинали будут направлены внутрь массива. В этом случае на устойчивость откосов (или подземных выработок) основное влияние будут оказывать два фактора: сочетание ориентировки разрывных нарушений и простирание откосов (стенки выработки).* Поверхности ослабления могут вычленять клиновидные блоки (если сопряжены две системы трещин) – в таком случае смещение происходит по трехгранному желобу. Если откос рассечен тремя системами трещин, тип обрушения может иметь трапециевидную форму. Исследования влияния двугранного угла  $\nu$  между поверхностями ослабления, на устойчивость подрезанного клина показывают, что объемный эффект обратно пропорционален величине этого угла. С уменьшением  $\nu$  растет сила зажима клина между поверхностями и увеличивается коэффициент устойчивости откоса. Установлено, что при  $\nu = 90^\circ$ , происходит скольжение по плоскостям ослабления, которое сдерживается только первичными силами сцепления и трения. Увеличение угла  $\nu$  снижает объемный эффект и величину коэффициента запаса устойчивости уступа, аналогичные выводы получены нами при определении формы блоков при помощи сетки Вальтера-Шмидта [210-212, или других графических методов. Угол устойчивого откоса зависит

от ориентировки поверхностей ослабления относительно простирания уступа, т.е. от  $\omega$  – угла между линией простирания откоса и плоскостью трещины и  $\nu$  – угла, образованного плоскостями смежных трещин, образующих призму обрушения.

2) Трещины разрыва, сформированные в ядре антиклинальной складки, будут являться путями движения подземных вод в горные выработки.

3) Кливажированные породы оказывают влияние на формирование осыпей в открытых горных выработках и деформации стенок и потолочин в подземных выработках.

4) Месторождение находится в зоне гипергенеза, которая характеризуется активизацией выветривания. Этот процесс наиболее интенсивно проявится в отложениях терригенной формации, слагающей верхние уступы карьера. Характерная для зоны гипергенеза трещиноватость пород будет оказывать влияние на формирование гравитационных и сейсмогравитационных процессов.

5) Обводнение коренных пород обусловлено гидравлической связью поверхностных отложений и коренных пород, при неравномерном перекрытии последних водоупорными глинистыми отложениями. В том случае, если глинистые породы будут слагать борта карьера, следует ожидать формирование оползней.

**Положительные геологические факторы**, которые не повлекут за собой развитие отрицательных последствий: 1. Приуроченность месторождения к ядру антиклинальной складки, поэтому залегание пород крутое с падением в сторону массива, а это препятствует активному проявлению сейсмогравитационных процессов в бортах карьера; 2. Северный и западный борта высокие с маломощным покровом делювиальных отложений — поэтому не возможно проявление процессов, характерных для рыхлых отложений. 3. Прочностные свойства пород в образцах довольно высокие; 4. Трещины разрыва имеют субширотное простирание и крутое падение, что не оказывает влияния на устойчивость откосов; 5. Мощность зон дробления варьирует в пределах от 5-10 до 40 м; 6. Палеозойские породы слабо водоносны.

**Внимания заслуживают следующие особенности геологического строения:** 1. При наличии серии тектонических нарушений, в сланцах развит секущий кливаж — это скажется на устойчивости породных массивов как в открытых, так и в подземных выработках; 2. Кайнозойские отложения слагают южный и восточный борта карьера. Породы представлены неогеновыми и четвертичными отложениями, имеющими глинистый состав, что может привести к возникновению оплывин, суффозионных процессов, развитию оврагов и оползней; 3. Трещинные воды палеозойских пород и четвертичных отложений имеют гидравлическую связь с поверхностными водами — это приведет к подтоплению карьера, шахт. Хотя палеозойские породы слабо водоносны, на глубинах 100-150 м обводнение происходит по трещинам разрыва, расположенным в ядре антиклинальной складки. Зыряновский карьер расположен в основном на левом берегу рек Березовки, Вторушки и Маслянки, и переходит в южной части на правый берег р. Вторушки — это приведет к интенсивному подтоплению горных выработок именно в южной части; 4.

Большого количества атмосферных осадков весной, осенью и зимой — также способствует усилению обводненности горных выработок.

Итак, анализ геологических условий показал: 1. Наиболее неблагоприятным участком при разработке месторождения может оказаться южный борт карьера, сложенный кайнозойскими отложениями. На самом деле именно этот участок и вызывает наибольшие опасения. Если бы этот анализ был проведен на стадии проектирования карьера, возможно можно было бы избежать многих негативных последствий. На этом участке необходимо провести выполаживание откосов, сложенных суглинками и одновременное укрепление почвенно-растительным слоем. Поскольку карьер располагается в долинах рек, необходимо сооружение отводного канала и серии дренажных канав с хорошей гидроизоляцией во избежание фильтрации воды из этих сооружений. Что касается затопления и подтопления шахт и карьеров — существует только один способ — сооружение водозаборов, которые должны функционировать даже после прекращения эксплуатации месторождения.

**Прогноз устойчивости откосов после ликвидации рудника.** Расчеты устойчивости южного и юго-восточного бортов, позволили установить следующее: скальные откосы южного борта находятся в относительно устойчивом состоянии, а заполнение карьера водой незначительно снижает их устойчивость. К востоку от южного оползня устойчивость откосов снижается. Это свидетельствует, о том, что восточный борт еще не достиг устойчивого равновесия. Откосы южного и юго-восточного бортов, сложенные породами кайнозоя с углом  $15^0$ , обладают достаточной устойчивостью. Смещение границ карьера в коренных породах приведет к соответствующему переформированию границ откосов сложенных породами кайнозоя. Деформация склонов бортов, сложенных рыхлыми отложениями, при подрезке скальной бровки будет происходить аналогично южному оползню (обрушение масс грунта в карьер с последующим оползанием неустойчивых откосов). Уступы, сохранившиеся в верхних горизонтах карьера, находятся в состоянии равновесия и деформации могут произойти только при обрушении нижележащих уступов борта и дна карьера. Ожидаемое смещение бровки скальных пород вглубь массива в восточной части карьера может составить 160 м от современного положения. В районе южного оползня эти смещения прогнозируются от нескольких метров до 40 м. Вопрос о времени сработки является довольно сложным. Денудационные процессы в скальных породах развиваются длительное время, поэтому скорость их развития может быть установлена при организации геомониторинга. Для уточнения прогноза устойчивости бортов Зыряновского карьера, необходимо иметь количественные данные по площади и скорости развития деформаций. Поэтому необходимо организовать сеть профилей для стационарных наблюдений по всему периметру карьера, в зоне опосредованного влияния карьера и распространения подземных выработок [192, 193, 215].

Заполнение карьера водой ниже уровня подошвы четвертичных отложений аллювиальных и делювиальных суглинков и отключение Северной Берёзовской линии дренажа не окажут сильного влияния на устойчивость

южного и юго-восточного бортов, сложенных породами кайнозоя. Заполнение карьера водой до отметки 439 м ухудшит устойчивость южного и юго-восточного бортов, когда вода достигнет промежуточного уровня и подтопит четвертичные суглинки.

Для прогноза развития техногенных процессов (таблица 5.3), использована классификация опасных геодинамических процессов, формирующихся под влиянием техногенного воздействия, не зависимо от способа воздействия на среду.

**Проверка прогноза развития инженерно-геологических процессов.** В настоящее время Зырянское полиметаллическое месторождение отработано. Процессы, развитие которых мы предполагали, исходя из геодинамических условий формирования региона и геологического строения месторождения, подтвердились. До начала затопления карьера водой, отмечались следующие процессы: весной 2002 года произошел срыв бермы в северном борту, хотя он считается устойчивым!). На южном борту карьера в настоящее время интенсивно развиваются два оползня, которые могут оказать отрицательное влияние на близлежащие жилые кварталы г. Зырянска. Эрозия глинистых пород будет продолжаться до тех пор, пока не сформируется местный базис эрозии, т.е. пока не поднимется уровень воды в карьере.

**Выяснение причин проявления непрогнозируемых процессов.** Непрогнозируемыми процессами явилось обрушение подземных горных выработок. Поэтому для выяснения причин этого процесса использована геолого-маркшейдерской документации. Для определения времени деформаций бортов, использованы сведения по отработке камер. Отработка месторождения камерами осуществлялась с 1962 по 1993 г.г. Причем вначале (1962-79 г.г.) были пройдены выработки в западной и северо-западной частях карьера. В районе южного оползня выработки были пройдены в 1980-1985 г.г. В восточной и юго-восточной частях карьера выработки пройдены в 1987-93 г.г. Эти данные свидетельствуют о возможном продолжении деформаций бортов. В камерах, пройденных в 60-е годы, выполнена закладка и на устойчивость откосов отрицательного влияния они не оказывают, кроме того, их количество значительно меньше, чем количество незакрепленных камер, пройденных в последующие годы. Сопоставление профилей 1984г. и 1991г. и маркшейдерских разрезов с обозначенными подземными камерами позволило определить места распространения камер, оценить границы их влияния, границы произошедших и ожидаемых деформаций борта только для районов южного и юго-восточного оползней. Анализ маркшейдерских профилей с нанесенными на них подземными выработками позволил установить границы расположения камер, зон горизонтального сдвижения горных пород и границы подрезки склона. Деформации происходят снизу вверх: срываются подработанные уступы, формируется оползневая поверхность, имеющая крутизну 25-30°. Деформация такого типа происходит медленно. Поверхность

Таблица 5.3– Прогноз развития техногенных процессов в Ревнюшинской структуре и на прилегающих территориях

| Свита, возраст, интрузивные комплексы                                      | Геодинамическая обстановка, формация                           | Природная обстановка, характеризующаяся быстроизменяющимися факторами <sup>* 2</sup>                     | Прогноз развития инженерно-геологических процессов |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Змеиногорский $\gamma\delta\nu C_{2-3}$                                    | Магматическая. Надвигание островной дуги на окраину континента | Суточный слой осадков однопроцентной обеспеченности, составляет 120 мм, Максимальные снегозапасы, 141 мм | $I_{4,5}^{*3}, II_{1,8,12,13} III_{1,2,3,5,6,7}$   |
| Кедровско-ларихинский $\beta\pi C_1$                                       | Магматическая. Столкновение микроконтинента с континентом      |                                                                                                          |                                                    |
| Тургусунская ( $C_1 tg$ )                                                  | Спрединговое море на стадии закрытия. Известняково-терригенная |                                                                                                          | $III_1$                                            |
| Ларихинская ( $C_1 lr$ )                                                   | Магматическая. Островная дуга                                  |                                                                                                          | $I_{4,5,11}, II_{1,8,12,13}, III_{1,2,3,5,6,7}$    |
| Субвулканические ги-пабиссальные $\mu\beta D_3-C_1$ и $\mu\lambda D_3-C_1$ | Магматическая. Рифтовые зоны микроконтинента.                  |                                                                                                          | $III_1$                                            |
| Хамирская $D_{2-3} hr$                                                     | Граувакковая. Склон островной дуги.                            |                                                                                                          | $I_{4,5}$                                          |
| Маслянская $D_2 ms$                                                        | Карбонатно-терригенная. Активная окраина кордильерского типа   |                                                                                                          | $I_{4,5,11}, II_{1,8,12,13}, III_{1,2,3,5,6,7}$    |
| Ревнюшинская $D_2 rv_1-D_2 rv_2$                                           | Кварц-кератофировая. Активная окраина кордильерского типа      |                                                                                                          | $I_{4,5,11}, II_{1,8,12,13}, III_{1,2,3,5,6,7}$    |

130130—

<sup>2</sup> Для характеристики природной обстановки использованы материалы [240]

<sup>3</sup> Категории процессов  $I_{4,5}$  проявляются при подземной разработке месторождений

смещения слабо вогнутая. Оползни кайнозойской толщи южного и юго-восточного бортов Зыряновского карьера образовались вследствие деформации сдвижения пород палеозоя, происшедшие из-за обрушения подземных выработок после отработки камер [193]. Итак, анализ позволил выявить следующее:

- Обрушение бермы в северном борту и оползни кайнозойской толщи южного и юго-восточного бортов Зыряновского карьера образовались вследствие деформации и сдвижения пород палеозоя, при отработке камер без закладки. Вероятно, не учитывалось также и необходимое время для заложения выработанного пространства.

- Причиной последующего развития южного и юго-восточного оползневых цирков явились вторичные деформации: обрушения и оползания высоких уступов аллювиальных суглинистых отложений и воздействие грунтовых вод.

- Причиной последующего развития южного и юго-восточного оползневых цирков явились вторичные деформации: обрушения и оползания высоких уступов аллювиальных суглинистых отложений и воздействие грунтовых вод.

#### **Соколовское железорудное месторождение в Торгайском прогибе.**

Для прогноза развития инженерно-геологических процессов на Соколовском подземном руднике используем объемное моделирование [194].

В работе [35] предложена геодинамическая модель развития изучаемого района. Из которой следует, что Соколовско-Сарбайские магнетитовые месторождения образованы как эксгальационно-осадочные в раннюю стадию развития островной дуги. Залежи руд стратиформные. Заключительный этап формирования структур, к которым приурочены месторождения, сопровождался закрытием задугового бассейна и смещением островодужного комплекса на северо-запад [85]. В мезозое на этой территории еще происходила аккумуляция морских отложений, а в кайнозое – здесь были созданы континентальные условия.

Для прогноза развития инженерно-геологических процессов использована классификация опасных геодинамических процессов, формирующихся в результате техногенного воздействия [195-199]:

*Первая категория (I)* - активизация влияния карста; внезапные прорывы плывунов; самообрушение камер; динамическое проявление горного давления; прорывы глин в горные выработки; плывуны, мульды сдвижения; формирование техногенных пустот при разработке месторождений полезных ископаемых.

*Вторая категория (II)* – техногенное заболачивание территории; активизация суффозионных процессов; выветривание; формирование депрессионных воронок за счет действия водозаборов; формирование депрессионных воронок за счет разработки месторождений полезных ископаемых.

*Третья категория (III)* – обводнение горных выработок; техногенные землетрясения при разработке месторождений полезных ископаемых; прорыв

воды из непогашенных пустот в рабочие горные выработки.

**Проверка прогноза подтвердилась в процессе эксплуатации рудника.** Остается выяснить: можно ли было установить последовательность развития этих процессов для того чтобы во время предотвратить их нежелательные последствия. Анализ горно-геологической документации Соколовско-Сарбайского рудника, проведенный с помощью компьютерных программ, позволил установить механизм развития деформаций в подземных выработках и выяснить причины возникновения воронок. Нами установлены фазы развития воронок.

1 фаза – обрушение потолка камеры в слоистых, сланцеватых или интенсивно трещиноватых породах, вследствие подрезки крутозалегающих слоев. Этот процесс может охватить несколько горизонтов. Если камера расположена близко к поверхности кровли палеозоя, или в зоне сближенных разломов, обрушение развивается по вертикали вверх. Если камера находится вне зоны разломов, или на более глубоком горизонте, первоначальная деформация развивается по напластованию, т.е. камера становится не вертикальной, а длинной наклонной. Этот процесс будет развиваться до тех пор, пока не произойдет обрушение всех подрезанных слоев.

2 фаза – при достижении провала до кровли палеозоя, вступает в силу суффозионный процесс. Вначале он будет развиваться под землей, вода по образовавшимся трещинам проникнет в горные выработки, высачиваясь из трещин, неся с собой глинистые частицы.

3 фаза – когда суффозионная полость будет уже большой, на поверхности шахтного поля образуется провал. У бровки провал будет иметь характерную вертикальную стенку.

4 фаза – наступит после прекращения эксплуатации месторождения, либо при постоянном и полном осушении воронок. В этом случае грунт, осыпавшийся с бортов воронок, не будет вымываться в горные выработки, и воронки будут засыпаны.

Анализ развития воронок, показал, что над карстовым полем развиты три воронки. Установить причины их развития на поверхности удалось только после изучения рудных горизонтов. В районе развития карстующихся пород, были пройдены отдельные камеры на горизонтах 0, -60, -90, -120, -160. Большее количество рудных тел относится к горизонтам и -190 и -260. Образование воронок не связано с отработкой горизонтов 0-160, и воронки сформировались при отработке горизонтов -190 и -260.

Инженерно-геологическая оценка гидрогеологических условий показала неравномерное распределение депрессионной воронки. В центральной части шахтного поля, где развиваются воронки, уровень воды минимальный, к западу, изолинии расположены густо, и довольно близко к шахтному полю, а на востоке – изолинии более разреженные и отстоят далеко от шахтного поля. По-видимому, такое размещение изолиний обусловлено различным литологическим составом рыхлых пород.

На территории горного отвода в процессе разведочного бурения были обнаружены локальные участки различных литологических разностей: пески,



глины лигнитовые и каолиновые (рисунок 5.1). Проверена возможность проникновения этих отложений в подземные выработки и их влияние на развитие суффозионных воронок. Непосредственно под воронками 1, 2 (южная часть шахтного поля) и у воронки 3 (на севере) залегают массивы песков. Вероятно, увлажненные пески проникли в выработки, и на поверхности шахтного поля сформировались воронки 1,2,3.

Воронка 5 располагается над массивом лигнитовых глин. Остальные тела глин расположены за пределами шахтного поля и какого-либо воздействия на горные выработки не оказывают.

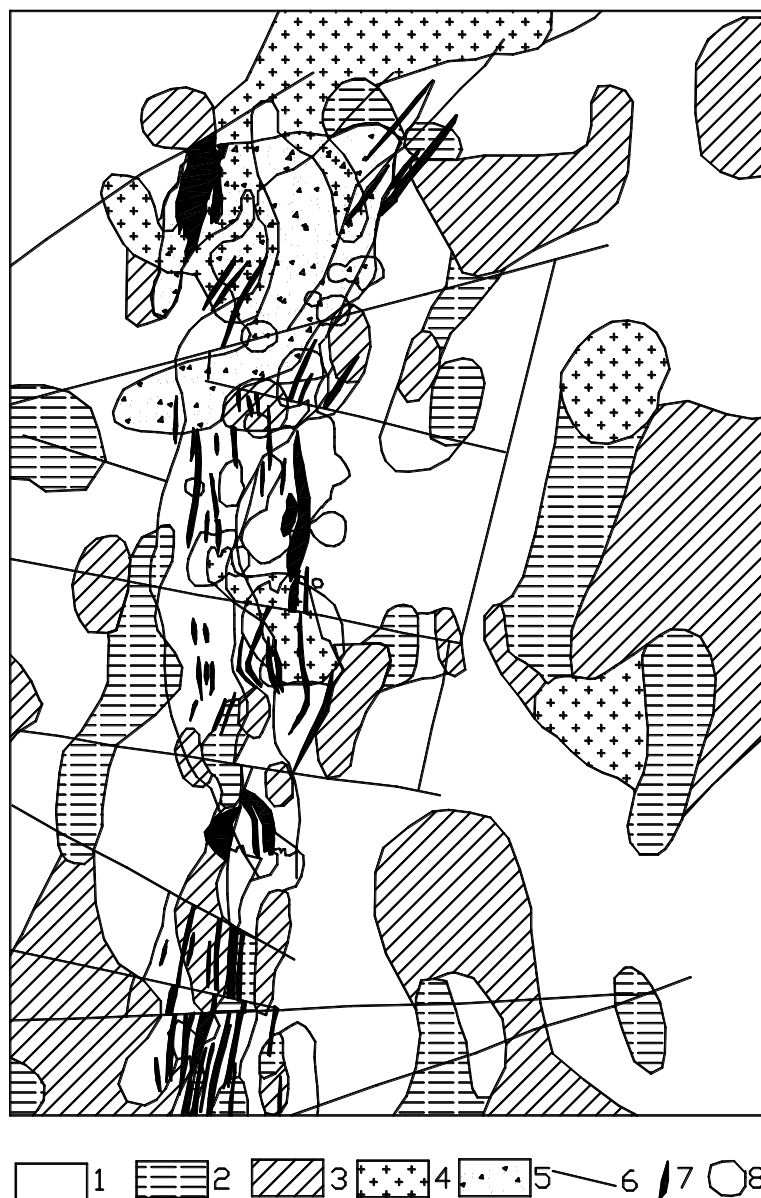
Использование программы AutoCAD позволило сопоставить расположение воронок на поверхности шахтного поля с горизонтами отработки [266]. Была получена трехмерная модель месторождения. Это позволило выяснить причины образования воронок (таблица 5.4), и установить зоны техногенной проницаемости между горизонтами.

Таким образом, с помощью трехмерного моделирования месторождения, установлены зоны техногенной проницаемости между горизонтами.

Анализ геологического строения показал, что прогноз развития процессов по имеющимся материалам разведки можно было сделать перед началом эксплуатации месторождения. Для предотвращения нежелательных процессов необходимо было разработать ряд мероприятий.

**Жанатасское месторождение.** В Малом Каратау, на основании различий в разрезе докембрия, выделяется две структурно-формационные зоны (СФЗ): Малокаратауская и Кокджотская СФЗ. Отложения кайнозоя развиты по периферии Малого Каратау, они образуют обширные шлейфы конусов выноса, перекрывающие предгорные равнины. Наиболее опасным инженерно-геологическим процессом является влияние карста на устойчивость бортов откосов. Геодинамический анализ позволил объяснить, что механизм формирования композиционной коры этого района проявился в виде сдвижения ранее причленившихся литосферных пластин и блоков.

Наиболее опасным инженерно-геологическим процессом является влияние карста на устойчивость бортов откосов. Геодинамический анализ позволил объяснить, что механизм формирования композиционной коры проявился в виде сдвижения ранее причленившихся литосферных пластин и блоков. Это отразилось на морфологии и тектонике изучаемого района. В результате было сформировано горное сооружение. Поэтому совокупность осадочных толщ в каждом отдельно взятом тектоническом блоке отражает не стратиграфическую последовательность формирования толщ, а механическое расположение слоев за счет сдвижения уже литифицированных пород [85]. Механическое сдвижение литифицированных пластин обусловило увеличение мощности карбонатных и терригенных толщ, а это повлекло за собой выделение этих толщ, в свиты [120, 117]. В качестве доказательства можно представить пестрые пачки пород джиланской свиты, слагающие висячий борт



1 – кора выветривания; 2 – лигнитовые глины; 3 – каолиновые глины; 4 – пески; 5 – карстующийся массив; 6 – разломы; 7 – рудные тела; 8 – суффозионные воронки, сформированные над шахтным полем.

Рисунок 5.1 – Схематическая геологическая карта мезозойских отложений Соколовского железорудного месторождения

Таблица 5.4 – Причины формирования деформационных воронок над карьерным полем

| Номер воронки | Причины образования воронок                                                                                                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Обрушение потолочин в камерах, расположенных по падению пласта при отработке горизонтов от 0 до –260                                                                              |
| 2             | Обрушение потолочин в камерах, расположенных по падению пласта при отработке горизонтов от 0, –60, –90                                                                            |
| 3             | Обрушение потолочин в камерах, расположенных по падению пласта при отработке горизонтов от 0 по –260                                                                              |
| 4             | Обрушение потолочин в камерах, расположенных по падению пласта при отработке горизонтов от –60 по –90                                                                             |
| 5-7           | Вероятно результат подработки горными выработками горизонтов –190 и –260 – под массивом закарстованных пород, возможно также, что воронка расположена в зоне сочленения разломов. |

карьера, выделенные в процессе полевых исследований Жанатасского месторождения [180-190], а также анализ распространения карстовых зон [205, 206]. В палеогене литосферные пластины джиланской свиты, сложенные доломитами, подвергались интенсивному карстообразованию. Сдвижение литосферных пластин привело к тому, что в одном и том же разрезе карст проявился на разных горизонтах. Обычно это объясняется колебаниями уровня подземных вод, но мы полагаем, что разноуровненное положение карстующихся зон связано с процессами, обусловленными геодинамикой. Это способствовало сдвигению и взаимонадвиганию литосферных пластин. Причем по данным бурения и методами математической статистики нами подтверждается следующее: мощность карстующихся зон уменьшается на северо-восток [205; 206].

Механическое сдвижение литифицированных литосферных пластин обусловило увеличение мощности карбонатных и терригенных толщ, а это повлекло за собой выделение этих толщ, в свиты. В качестве доказательства можно представить пестрые пачки пород джиланской свиты, слагающие висячий борт карьера

*Изменение представлений о геодинамических условиях формирования этого района позволяет пересмотреть вопрос об инженерно-геологическом районировании и типизации этой территории, и соответственно уточнить прогноз развития техногенных процессов.*

**Акбастау-Кызылсайское месторождение мраморов.** Мраморизованное месторождение Акбастау-Кызылсай, расположено в Курдайском районе Жамбылской области. Месторождение приурочено к известнякам верхнего ордовика дункаринской свиты. Мощность отложений дункаринской свиты в описываемом районе варьирует в пределах 540-1330 м. Отложения свиты характеризуется частым переслаиванием песчаников, алевролитов, известняков и конгломератов. Увеличенная мощность свиты свидетельствует о скрытых надвиговых зонах, и о том, что выделяемые границы свит с вышележащими и

нижележащими толщами являются границами литосферных пластин [117]. Литосферные пластины состоят из блоков различных порядков. В работах [203, 204] доказано, что существует геодинамическая связь между мега- и микроуровнем, это отражается на тектонике породных массивов, которая формируется в несколько стадий: 1) появление мелких трещин; 2) формирование складчатой формы. Деформация характеризуется укрупнением трещин за счет закрытия мелких трещин и появления более крупных систем скольжения; 3) формирование складчатых форм и появление сопряженных дизъюнктивных нарушений; 4) различные сочетания мелких трещин, складок и крупных разрывов.

Условно выделяется три случая развития тектоники, они хорошо соотносятся с формированием различных типов пликативно – дизъюнктивных деформаций, проявляющихся при преобразовании внутриплитного шельфа в активную окраину плиты с развитием задуговых бассейнов.

Проведенный при помощи Map Info геодинамический анализ района изучаемого месторождения, позволяет сделать следующие выводы: 1) дункаринская свита представляет собой несколько литосферных пластин, надвинутых одна на другую; 2) отложения дункаринской свиты относятся к терригенно-карбонатной и карбонатной формациям; 3) формирование карбонатной и терригенно-карбонатной формаций происходило на внутриплитном шельфе; 4) отложения дункаринской свиты были сформированы в заключительную стадию формирования внутриплитного шельфа; 5) анализ тектоники позволил подтвердить геодинамические условия формирования изучаемого месторождения – это фрагменты внутриплитного шельфа.

Известно, что в скальных породах деформации уступов происходят по поверхностям ослабления, к которым относятся тектонические нарушения, трещины, слоистость или сланцеватость, направленные в сторону выемки. В работе [224] установлено, что этими поверхностями могут являться поверхности спайности в мономинеральных породных массивах. Поверхностями ослабления в мономинеральном массиве могут являться поверхности спайности минералов. Известным кристаллографом Е.С. Федоровым [225] при замерах двугранных углов, установлена взаимосвязь между формой и составом кристаллического вещества. В случае мономинерального состава горных пород образованные системы трещин в массиве горных пород и его блоковая структура имеют ту же закономерность, что и образование кристаллических форм. Призма обрушения образуется от сочетания нескольких систем поверхностей ослабления, т.е. двугранного угла между поверхностями ослабления [203, 204, 210-211].

*Геодинамические условия формирования месторождения отражаются макроструктуре породных массивов, а в мономинеральных породах на кристаллической структуре и имеют с ней общие признаки. Установление этой связи может послужить важным элементом ведения горных работ в мономинеральных горных породах [204].*

На каждом отдельном участке может иметь место своя локальная закономерность, что подтверждает блочное строение литосферных пластин, проявляющееся на различных уровнях. Например, карбонатный ромбоэдр на каждом участке может быть ориентирован по-разному, в зависимости от условий деформации данного участка [224]. Следовательно, в процессе разработки месторождения необходимо на каждом участке устанавливать закономерности расположения естественных блоков пород и соответственно выбирать направление фронта работ.

*Таким образом, мы доказали, что для прогноза развития опасных инженерно-геологических процессов и управления производством горных работ, необходимо применять геодинамический анализ.*

## **5.5 Организация инженерно-геологического мониторинга**

### **5.5.1 Рекомендации по организации геомониторинга**

Разрабатываемые месторождения полезных ископаемых оказывают отрицательное влияние на окружающую среду, это порождает опасные геодинамические процессы (ОГП). Для предотвращения нежелательных процессов, или уменьшения их опасного влияния на природу и людей, необходимо проводить геомониторинг. Мониторинг - это повторяющееся и непрерывное наблюдение, измерение и контроль современного состояния окружающей среды в определенных пунктах и в определенные периоды времени с использованием сопоставимых методов измерений и сбора данных, а в ближайшем будущем - использование полученной информации для управления природными и антропогенными процессами.

Наблюдения за инженерно-геологическими процессами должны проводиться по специально разработанным программам, отражающим методику изучения того или иного процесса. На наш взгляд, наиболее рациональным является создание специализированных отделов трех уровней: 1 уровень – на каждом месторождении; 2 уровень – центральный отдел. Отделы должны быть укомплектованы постоянным штатом сотрудников – специалистов: по программированию, по геодезии, по добыче углеводородов, по геологии, по геофизике, по экологии, по гидрогеологии и инженерной геологии; 3 уровень – государственный орган по изучению и использованию недр. Отделы 1 и 2, 2 и 3 уровней должны иметь прямую и обратную связь.

Для организации базовой структуры геомониторинга необходимо использование компьютерных программ: AutoCAD, ArcInfo, Map Info и др. Применение современных геодезических приборов для дистанционного изучения трудно доступных (опасных) участков, цифровые фотокамеры и др.

**Функции отделов первого уровня:** изучение развития инженерно-геологических процессов, обработка собранных материалов и внедрение мероприятий по уменьшению и предотвращению ОГП. Собранная со всех месторождений информация, после обработки, в электронном виде передается в центральный отдел на второй уровень.

### **Функция отдела второго уровня:**

- ревизия всей геолого-геофизической и технической документации по каждому месторождению;
- уточняется содержание и назначение существующих документов;
- разрабатывается схема движения каждого документа от создания до его использования. Эта процедура даст возможность избавиться от лишней документации и усовершенствовать существующую;
- разработка программы (методики) изучения всех возможных инженерно-геологических процессов. Методика должна включать количественную оценку процесса;
- разработка требований к оформлению и содержанию отчетов, с учетом дальнейшего применения к получаемым материалам современных компьютерных технологий;
- внедрение современных компьютерных программ;
- создание сети банка данных по каждому месторождению;
- сбор данных и разработка рекомендаций по предотвращению или уменьшению отрицательного техногенного воздействия на окружающую среду, исходя из особенностей каждого месторождения;
- рекомендации по организации наблюдательной сети геомониторинга должны разрабатываться индивидуально по каждому месторождению, в зависимости от геолого-геоморфологических, гидрогеологических и инженерно-геологических, природных условий и технических особенностей объекта: способа добычи, глубины залегания полезного ископаемого.
- создание мобильных в пространстве и времени трехмерных инженерно-геологических и экологических моделей месторождений и объектов транспортировки и переработки полезных ископаемых.

### **Функции отделов третьего уровня:**

- утверждение инструкций, методических указаний в области государственного мониторинга ОГП;
- вводит ограничения на режим природопользования;
- следит за исполнением рекомендаций по предупреждению ОГП при эксплуатации месторождений

**Отделы первого уровня** по мере сбора информации передают результаты первичной обработки инженерно-геологической документации на 2 уровень по электронной почте.

**Отделы второго уровня** ежеквартально, также в электронном виде предоставляют данные по состоянию и развитию ОГП на третий уровень.

В том случае, если отмечается ухудшение состояния природной среды, отделом второго уровня сообщаются рекомендации по уменьшению или предотвращению ОГП на первый и третий уровни. Сотрудники отделов 1 уровня занимаются внедрением рекомендуемых мероприятий, а сотрудники отделов 3 уровня – осуществляют контроль внедрения мероприятий.

Прогноз развития инженерно-геологических процессов осуществляет специализированный отдел 2 уровня уже на стадии проектирования карьеров, подземных горных выработок, нефтегазодобывающих скважин, скважин по

выщелачиванию полезных ископаемых, гидрогеологических скважин, поэтому геомониторинг следует разделить на этапы, как рекомендовано в таблице 5.1:

**1 этап** – анализ и переинтерпретация региональных геологических материалов – результатов всех предыдущих стадий геологоразведочных работ – предназначается для восстановления исторической последовательности развития геодинамических условий формирования изучаемого региона;

**2 этап** – предварительный прогноз развития техногенных процессов – выполняется на основании региональных материалов и геодинамического анализа;

**3 этап** – разработка методов по уменьшению вредного техногенного воздействия на геологическую среду – изучение патентной и изданной литературы по вопросам предотвращения загрязнения окружающей среды, по свойствам пород, по вопросам изучения и развития инженерно-геологических процессов, по вопросам гидрогеологии, по современным методикам геодезических исследований и т.д.;

**4 этап** – сбор и обработка геологических материалов полученных при геологоразведочных работах. Осуществляется прогноз развития инженерно-геологических процессов с указанием на трехмерной модели мест развития ОГП. Для каждого конкретного процесса разрабатывается программа наблюдений, задается сеть мониторинга. Трехмерная инженерно-геологическая модель состояния естественной природной среды составляется до начала техногенного воздействия. Эта модель по мере получения дополнительной информации в процессе разведки и эксплуатации месторождения будет корректироваться.

**5 этап** – постоянное наблюдение и одновременная оценка фактического прогнозируемого состояния геологической среды, с одновременным внедрением мероприятий по уменьшению или исключению проявления ОГП.

### **5.5.2 Методика сбора информации, пригодной для инженерно-геологической интерпретации**

**На первом этапе**, проведя переинтерпретацию геологических материалов с позиций теории тектоники плит, мы получаем возможность выделения литосферных пластин и блоков, последовательность их формирования, уточняем границы пластин и блоков. Общая геодинамическая схема позволяет уточнить направление сдвижения и сжатия литосферных пластин и блоков, а также зоны растяжения, возникающие вследствие формирования пликтивных дислокаций. Исходной информацией являются материалы региональных исследований: отчеты и карты (геологические, полезных ископаемых, гидрогеологические, геоморфологические, четвертичных отложений).

**Выбор сведений, необходимых для анализа:** 1) Количество атмосферных осадков, продолжительность влажного периода, высота снежного покрова, температура воздуха, почвы, глубина промерзания грунтов; 2) Абсолютные и относительные отметки рельефа; 3) Характеристика гидросети: ширина, глубина и протяженность русла, расход воды, характер питания и

режим реки; 4) Глубина залегания подземных вод. Характеристика источников: дебит, вид источника по условиям выхода на поверхность; 5) Геоморфологическая характеристика рельефа. Морфологическая характеристика склонов в естественных обнажениях: форма и крутизна склонов различной экспозиции и различного литолого-петрографического состава; 6) Выделение и характеристика стратиграфо-генетических комплексов пород; 7) Сведения о пликтивно-дизъюнктивных нарушениях: наличие и ориентировка антиклинальных и синклинальных складок. Ориентировка густота разрывных нарушений. Соотношение выявленных пликтивных и дизъюнктивных структур с гидросетью.

Назначение выбираемой информации. Сведения о количестве атмосферных осадков, параметрах источников подземных вод, параметрах рек, ориентировке пликтивно-дизъюнктивных нарушений позволяют сделать вывод о вероятности обводнения горных выработок. Сведения о морфометрии района, позволяют выделить области питания и разгрузки подземных вод. Изучение (даже по топографической основе) формы и крутизны природных склонов, дадут возможность сделать рекомендации по форме и крутизне склонов в искусственных выемках при отработке месторождений полезных ископаемых. Выделение стратиграфо-генетических комплексов пород позволяет выполнить формационный анализ для определения геодинамической обстановки формирования литосферных пластин и блоков, слагающих изучаемую территорию, с позиций тектоники плит. Литолого-петрографический состав пород дает возможность выделить самые неблагоприятные с точки зрения развития опасных геодинамических процессов породы, к которым относятся карбонатные, галоидные, сульфатные, глинистые породы, а также сланцы осадочного и метаморфического генезиса.

Наличие пликтивных нарушений может дать полезную информацию для прогноза водопритоков, устойчивости откосов, микросейсмрайонирования изучаемой территории [179]. Замок антиклинальной складки является зоной растяжения в виде трещин, которые затухают с глубиной. А трещины являются путями миграции атмосферных осадков. Породы, слагающие крылья антиклинали благоприятны для проходки горных выработок, поскольку азимуты падения пород и плоскости напластования (сланцеватости), направленные в сторону массива не создают поверхностей ослабления, направленных в сторону выработки. Пример: Зыряновское месторождение приурочено к ядру антиклинальной складки. Породы, слагающие борта карьера прочные, направление падения в сторону массива. Простираие крупных разломов совпадает с простираием замка складки, падение разломов – вертикальное. Обводненность месторождения происходит по крупным тектоническим трещинам за счет инфильтрации поверхностных вод и атмосферных осадков.

В синклинальных и моноклинальных структурах обводнение пород может происходить только в том случае, если разгрузка подземных вод осуществляется между пластами моноклинали и по разломам, секущим моноклираль. Пример: на фосфоритовом месторождении Жанатас, блок



Тогузбай (Малый Каратау), обводнение карьера происходит только по субмеридиональным разломам, пересекающимся с водоносным региональным разломом субширотного простираения.

Устойчивость откосов, бортов и стенок горных выработок находятся в полной зависимости от угла наклона поверхности ослабления, направленной в сторону выемки. Установлено [209], что разница между углом наклона поверхности ослабления и углом наклона откоса не должна превышать 5 градусов.

Ориентировка и густота разрывных нарушений дают возможность выделить тектонические блоки и места наибольшей концентрации напряжений. Узлы пересечения, или границы блоков являются наиболее опасными в сейсмическом отношении, и при отработке месторождений именно в этих местах будет проявляться наибольшее влияние от взрывов. Например, нами установлено: влияние ориентировки разрывных нарушений на сейсмичность города Дальнегорска (Россия): при прочих сходных геологических условиях, именно от ориентировки даже залеченных зон разломов зависит микро-сейсморайонирование территории [179].

**На втором этапе исходной информацией** являются результаты исследований, полученные при решении первой задачи (таблица 5.1): геодинамическая карта региона, инженерно-геологическая карта района месторождения (масштаб 1:200000 до 1:50000), таблицы, графики, схемы.

На основании анализа геологического строения и геодинамических условий формирования региона, выполненных на первом этапе, можно дать предварительный прогноз развития инженерно-геологических процессов на конкретном участке, используя для этого классификацию опасных геодинамических процессов, приведенную в [195-198], формирующихся под влиянием техногенного воздействия.

**Третий этап** посвящен разработке методов по предотвращению прогнозируемых процессов, он требует изучения специальной литературы, патентных изобретений, обзора литературы по борьбе с аналогичными процессами на других месторождениях.

**На четвертом этапе** осуществляется прогноз развития инженерно-геологических процессов с указанием на карте мест их развития. Для каждого конкретного процесса разрабатывается программа наблюдений, и указываются места проведения мониторинга [200, 201].

**Исходная информация.** Геологическая карта месторождения с условными обозначениями и пояснительной запиской. Карта фактического материала с нанесенными скважинами, канавами, горными выработками. Геологические колонки по скважинам, буровые журналы (петрографический состав вмещающих пород, линейный размер столбиков керна, зоны поглощения буровой жидкости, ориентировка трещин относительно оси керна). Документация канав (петрографический состав вмещающих пород, их состояние, оценка трещиноватости). Погоризонтные планы подземных горных выработок (контуры горных выработок; высота камер, площадь камер).

Геолого-маркшейдерские планы карьера за все годы эксплуатации, геолого-маркшейдерские профили.

Сведения о деформациях в скальных откосах (дата деформации, причины деформации, параметры деформаций: длина по фронту, длина по откосу, крутизна деформированного откоса, высота откоса, объем призмы обрушения, описание пород, в которых произошла деформация). Площадки изучения трещиноватости с точной привязкой к геолого-маркшейдерскому плану (диаграммы, системы трещин). Прочностные свойства пород (в массиве; в образцах; по поверхности ослабления). Фотодокументация бортов (привязка фотографий к плану, дата съемки). Параметры разломов, крупных трещин (азимут падения, азимут простирания, угол падения, протяженность в плане, величина зоны дробления).

Крутизна и высота бортов, уступов, ширина берм (сведения о сдвоенных, строенных бермах на каком горизонте, в каких породах, какой участок по протяженности они занимают) указать причины и дату их формирования (срыв или технологические причины).

Условия обводненности карьера и подземных горных выработок в условиях действующих водоотливов и водопонижений, без водоотливов (места водопритоков: существующие зоны разгрузки или возможные места выклинивания подземных вод), количественная и качественная характеристики подземных вод в динамике (гидравлическая связь поверхностных и подземных вод). Сеть геодезических реперов (закрепление пунктов фототеодолитных съемок) для фотодокументации уступов карьера и трещин бортового отпора в течение всего периода эксплуатации [192].

**Пятый этап** соответствует проведению геомониторинга и управления техногенными процессами. *Для проведения инженерно-геологических исследований на горнорудных предприятиях, можно использовать инженерно-геологическую документацию и методику исследований, приведенных в работе [222].*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии приведена усовершенствованная теоретическая концепция формирования земной коры. Применение концепции позволяет решить многие проблемы в геологии и в области рационального освоения недр.

Основные результаты сводятся к следующему:

1. Горизонтальные участки конвективных ячеек мантийного и астеносферного вещества имеют волнообразную форму. С глубиной амплитуда колебаний затухает и горизонтальные участки конвективных ячеек выполаживаются. Совпадение нисходящих конвективных ветвей астеносферы и мантии ведет к возникновению зон субдукции. Волнообразная конвекция объясняет причины и механизм формирования зоны субдукции, различие в скоростях движения литосферных плит; неравномерную мощность литосферной оболочки; наличие аномальных зон выделения тепла; причины выделения тепла в зонах субдукции; формирование мощных метаморфических толщ; возникновение плагιοгранитов; островодужных бассейнов; надвигание гетерогенной плиты на гомогенную и др.

2. Конвекция в мантии осуществляется медленнее, чем в астеносфере.

3. На поверхности литосфера разбита подвижными границами на плиты. Нижней границы плиты не имеют, т.к. они постепенно замещаются более пластичным мантийным веществом. На дивергентных границах, где обнажается мантия, происходит ее охлаждение и на мантии образуется кора. На конвергентных границах, происходит преобразование исходного вещества и формирование композиционной коры, наращивающей литосферные плиты сверху.

4. На границах плит возникает перераспределение напряжений, это выражается в формировании оползневых блоков. Границы блоков служат путями выделения минерализованных гидротерм. На конвергентных границах в коре надвигаемой плиты, в задуговых бассейнах формируются псевдоспрединговые хребты. Разогрев вещества в зонах субдукции происходит за счет взаимного трения пород мантийной коры, погружаемых в мантию. Минерализация гидротерм осуществляется за счет выделения рудных компонентов из затягиваемых в зону субдукции образований. Выход гидротерм происходит по границам оползневых блоков.

5. Энсиматические острова рождаются на ранней стадии формирования зоны субдукции. Энсиматические острова возникают в том случае, если на мантийной плите имеются положительные формы рельефа, которые не могут быть затянуты в желоб из-за крупных размеров.

6. Складчатые зоны формируются при закрытии островодужных бассейнов.

7. Направление движения мантии, покрытой каменной коркой, зависит от взаимного расположения зон спрединга и происходит по результирующей. В природе могут встречаться следующие случаи движения мантии: от одной зоны спрединга, от двух СХ, расположенных под углом друг к другу, от двух встречных и одного расположенного под углом к ним.

8. Под влиянием результирующего движения мантии, коровые пластины и блоки, на конвергентных границах также сдвигаются по результирующей, пока не столкнутся друг с другом. После столкновения, они передают напряжения на блоки, которые раньше нарастили композиционную кору.

9. После раскола литосферной плиты под влиянием восходящего конвективного потока, остаточные структуры спредингового хребта, слагают основание внутриплитного шельфа. Рудные компоненты, выделившиеся на начальной стадии раскола плиты, сохраняются от разрушения на внутриплитном шельфе. После преобразования внутриплитного шельфа в активную окраину плиты, они формируют месторождения. Под влиянием результирующего движения, пластины и блоки с содержащимся в них рудным веществом, смещаются.

10. Возраст пород не всегда соответствует времени формирования композиционной коры.

11. Разработаны легенды и с помощью ГИС составлены две геодинамические карты в масштабе 1 : 1 500 000 для Северного, Центрального, Восточного и Южного Казахстана. Первая отражает условия, время и последовательность формирования композиционной коры, она служит основой для прогноза размещения рудных компонентов. Вторая отражает динамику каждого структурного элемента, т.е. механизм его перемещения: надвигание, сдвигание, поддвигание. Это позволяет определить поднадвиговые зоны. Обе карты являются основой для специальных видов районирования, применяемого в геологии.

12. Каждый структурный элемент может иметь определенную минерализацию, связанную со стадией рудообразования, поэтому геодинамические карты заменяют минерагенические, и являются прогнозными для месторождений полезных ископаемых, скрытых на глубине.

13. Механизм выделения рудных компонентов на конвергентных и дивергентных границах одинаковый, но причины выделения различны.

14. Совместное влияние мантийной конвекции в период с силура по мезозой, способствовало сдвигению коровых пластин с юго-востока на северо-запад. Это привело к формированию сдвиговых границ между различными пластинами и блоками, которые указывают направление смещения фрагментов композиционной коры. Возникновение Атлантики с зоной спрединга, способствовало надвиговых пластин.

15. На примере Рудного Алтая, доказывается, что применение геодинамического анализа для переинтерпретации геологических материалов, позволяет уточнить модель формирования любого района, объяснить причины неравномерного размещения рудных компонентов, сделать прогноз размещения месторождений полезных ископаемых, дать прогноз развития техногенных процессов.

16. Предложена классификация месторождений на геодинамической основе.

17. Предложена базовая структура геомониторинга, основанного на геодинамическом анализе. Разработана методика геодинамического анализа для поисков, разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

18. Даны рекомендации на поисково-разведочные работы в Соловьевском блоке Рудного Алтая. Внедрены в производство рекомендации по консервации Зыряновского рудника, по разработке Соколовского месторождения.

Предлагаемая теория и методика геодинамического анализа применены для разработки легенд и составления геодинамических карт. Эти карты являются основой для специализированного районирования изучаемой территории и решения задач по сейсмическому прогнозу, инженерной геологии, гидрогеологии, минерагенического районирования, организации геомониторинга, и др.

Даны рекомендации на поисково-разведочные работы в Соловьевском блоке Рудного Алтая. Внедрены в производство рекомендации по консервации Зыряновского рудника, по разработке Соколовского месторождения, разработана методика сбора и обработки геологической информации для инженерно-геологического анализа.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ficher O. Physic of the eart crust. 2-ed.– London. 1889
- 2 Вегенер А. Происхождение континентов и океанов. М. –Л.: Наука, 1984. – 285 с.
- 3 Holmes A. / Radioactivity and earth movements //Trans. Geol. Soc. Glasgow. 1929. Vol. 18.P.559-606.
- 4 Кропоткин П.Н. Значение палеомагнетизма для стратиграфии и геотектоники // Бюлл. МОИП. Отд. геол. –1958. – Т.38. № 4. – С.57-86.
- 5 Кропоткин П.Н. Механизмы движений земной коры // Геотектоника.– 1967, –№5. С. 25-40.
- 6 Hess Н.Н. History of ocean basins //Petrologic Studiens. A volume to honor A.F.Buddington /Geol. Soc. Am. 1962. P.599-620.
- 7 Wilson J.T. Hypothesis of Earth behavior. //Nature.– 1963.– vol. 198.– P.925-929
- 8 Vine F.J., Matthews D.H. Magnetic anomalies over oceanic ridges //Nature. – 1963. –Vol. 199.– N 4897.– P. 947-949.
- 9 Wilson J.T. A new class of faults and their bearding on continental drift // Nature. –1965.– Vol.207. –N 4995.– P. 343-347
- 10 Wilson J.T. A new class of faults and their bearding on continental drift // nature. 1965. Vol.207. N 4995. P. 343-347
- 11 Bullard E. C., Everett J.E., Smith A.G. The fit of continents around Atlantic // A symposium on continental drift, Phil. Trans. Roy. Soc. 1965. Vol. 258 A. P.41-51.
- 12 Heirtzler J., Grassle J. Deep–sea research by manned submersibles // Science. 1976. Vol. 194. N 262. P. 294–299.
- 13 Morgan W.J. Rises, trenches, great faults and crustal blocks // J. Geophys. Res. –1968. –Vol.73.– N 6. – P. 1959-1982.
- 14 Le Pichon X. Sea–floor spreading and continental drift // J. Geophys. Res. – 1968. – Vol. 73.– N 12. – P.3661–3697.
- 15 Isaks B., Oliver J., Sykes L. R. Seismology and the new global tectonics // J. Geophys. Res. –1968.– Vol. 73.– N 18. –P.5856–5859.
- 16 Ушаков С.А. Вязкость и динамические процессы в коре и верхней мантии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геол. –1968.– № 1.– С. 62-75
- 17 Митчелл А., Гарсон М. Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений.– М., 1984.– 496 с.
- 18 Mitchell A. H. G., Bell J. D. Island – arc evolution and related mineral deposits.// J. Geol.– 1973. V. 81.– P.381–405.
- 19 Mitchell A.H.G., Reading H.G. Continental margins, geosinclines and ocean floor spreading. //J. of Geol.– 1969.– Vol. 77/– N 6.–P.629-646.
- 20 Mitchell A.H.G. Metallogenic belts and angle of dip of Benioff zones. – “Nature Phys. Sci.” 1973, vol. 245, p. 49-52.
- 21 Пейве А.В. Океаническая кора геологического прошлого // Геотектоника. –1969. – № 4. – С.5-23.

- 22 Dewy J., Birds J., Mountain belts and the new global tectonics // *J. Geophys. Res.*—1970.— Vol. 75.— N 14. —P.2625–2647.
- 23 Ковалев А.А. Геодинамическая модель и металлогения Южного Урала // *Общ. и регион. геология, геол. картирование: ЭИ ВИЭМС.*1983, .— Вып. 6. С. 5-13.
- 24 Ковалев А.А. Тектоника плит и некоторые аспекты металлогенического анализа // *Геология рудных месторождений.*— 1972. — № 5.— С. 90-96.
- 25 Ковалев А.А. Геодинамические основы регионального анализа размещения и условий формирования месторождений полезных ископаемых // *Изв. АН СССР. Сер. Геол.* — 1976. —№ 1. —С. 56-73.
- 26 Ковалев А.А. Мобилизм и поисковые геологические критерии. М., Недра, 1978. —287 с.
- 27 Ковалев А.А. Мобилизм и поисковые геологические критерии. — М.: Недра, 1985,— 223 с.
- 28 Ковалев А.А. Эксгалиационные руды вольфрама и олова на океанском дне. // *Геология морей и океанов: Тез. докл. 10-й международной школы морской геологии.* — М.: ИО РАН , 1992. —Т.3.— с.21-22.
- 29 Ковалев А.А. Новые критерии переоценки масштабов вольфрамового оруденения // *Цветная металлургия.*— 1988.— N 6.—С. 82-83.
- 30 Ковалев А.А.Океаническая кора - источник крупных скоплений рудных полезных ископаемых (некоторые вопросы рудообразования) // *Жизнь Земли (геодинамика и минеральные ресурсы).*— М.: МГУ, 1988.—С.108-115.
- 31 Ковалев А.А. Важнейшие скарноидные и полигенные месторождения вольфрама, молибдена и олова Китая. — М.: Геоинформарк, 1999.— 50 с.
- 32 Ковалев А.А. Концепция об эксгалиационном и эксгалиационно-осадочном образовании скарноидных месторождений вольфрама, молибдена и олова (на примере Тырныауза) // *Известия секции наук о Земле Российской академии естественных наук.*— 2001.— Вып. 6. — С. 43-50.
- 33 Ковалев А.А. Перспективы сырьевой базы вольфрама и олова Кокчетавской рудной провинции. М.: изд-во МГУ, 2005.
- 34 Ковалев А.А., Леоненко Е.И. Методика глубинного прогнозно-геодинамического картирования: Уч. Пособие.—М.: Изд-во МГУ, 1992.
- 35 Ковалев А.А., Карякин Ю.В. Эволюция земной коры Зайсанской складчатой системы с позиции концепции тектоники плит и некоторые вопросы металлогении. // *В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника.* —М.: Мир, 1973.— С.81-83.
- 36 Miyashiro A. Metamorphism and related magmatism in plate tectonics // *Am. Journ. Sci.* —1972.— Vol. 272. —P. 629-656.
- 37 Уеда С. Новый взгляд на Землю. М.: Мир, 1980.
- 38 Дмитриев А.В. Геохимия и петрология коренных пород срединных океанических хребтов: автореф. дис.— М., 1973.— 45 с.
- 39 Dewy J., Birds J., Plate tectonics and geosynclines // *Tectonophysics.* — *Geophys. Res.* 1968. Vol. 10, N 5/6. P.625–638.

- 40 Dewey J.F., Birds J.M. Origin and emplacement of the ophiolite suite appalacian ophiolites in Newfoundland. //J. Geophys. Res.— 1971.— Vol.76.— N 114. — P.3179–3206.
- 41 Дьюи Дж., Берд Дж. Горные пояса и новая глобальная тектоника. //В кн.: Новая глобальная тектоника. — М., Мир, 1974.— С. 191-219
- 42 Сорохтин О.Г. Глобальная эволюция Земли.— М.: Наука, 1974.
- 43 Dickinson W.R. Subduction and oil migration. //Geology.— 1974.— Vol. 2.— N 9.— P. 421–424.
- 44 Сорохтин О.Г., Дмитриев Л.В., Удинцев Г.Б. Возможный механизм образования земной коры // Докл. АН СССР. 1971. Т.199. № 2. С.319-322.
- 45 Сорохтин О.Г. Зависимость топографии срединно-океанических хребтов от скорости раздвижения литосферных плит //Докл. АН СССР. —1973.— Т.208.— № 6.— с.1338-1341.
- 46 Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли.—М.: Изд-во МГУ, 1991.— 446 с.
- 47 Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли: Учебник. — М.: Изд-во МГУ, 2002. —560 с.
- 48 Монин А.С., Сеидов Д.Г., Сорохтин О.Г., Сорохтин Ю.О. Численное моделирование мантийной конвекции // Докл. АН СССР.— 1987.— т.294.— № 1. — С.58-63.
- 49 Монин А.С. История Земли. —Л.: Наука, 1977. — 228 с.
- 50 Монин А.С., Сорохтин О.Г. О механизме раскрытия активных краевых морей // Докл. АН СССР.— 1983.— Т. 271.— № 5. —С. 1101 – 1103.
- 51 Монин А.С., Сорохтин О.Г. Эволюция океанов и геохимия континентов // Палеоокеанология: двадцать седьмой Международный геологический конгресс. М.: 1984.— С.22-35.
- 52 Монин А.С., Сорохтин О.Г. Геологическая теория и полезные ископаемые. М: Наука, 1983.— 7.
- 53 Сорохтин О.Г., Лобковский Л.И. Механизм затягивания океанических осадков в зону поддвига литосферных плит // Изв. АН СССР. Физика Земли. —1976.— № 5. —С. 3-10.
- 54 Городницкий А.М., Зоненшайн Л.П., Мирлин Е.Г. Реконструкции положения материков в фанерозое (по палеомагнитным и геологическим данным). — М: Наука, 1978.
- 55 Ушаков С.А., Галушкин Ю.И. Литосфера Земли. Ч.1. Кинематика плит и океаническая литосфера // Физика Земли. Т.3. / Под ред. В.В. Федынского и К.С. Лосева. М., ВИНТИ 1978. 272 с.
- 56 Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г. Гидротермальные образования рифтовых зон океана.— М.: Наука, 1990. —256 с.
- 57 Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Зоненшайн Л.П. и др. Гидротермальные проявления Срединно-Атлантического хребта на 26<sup>0</sup> с.ш. (гидротермальное поле ТАГ) // Изв. АН СССР. Сер. Геол.— 1989, —№ 13.— С.3-20.
- 58 Лобковский Л.И. Горизонтальная фильтрация расплава в астеносфере и геохимические особенности базальтового магматизма //Геология



океанов и морей: материалы VI Всесоюз. Шк. Мор. Геологии. М.: ИОАН СССР, 1984. Т.2. С.127-128.

59 Лобковский Л.И. Геодинамика реологически стратифицированной и тектонически расслоенной литосферы и концепция двухъярусной тектоники плит //В кн.: Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования. – М.: Наука, 1990.– С.27 – 42.

60 Лобковский Л.И. Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. – М.: Наука, 1988. – 251 с.

61 Авдеев А.В., Ковалев А.А. Офиолиты и эволюция юго-западной части Урало-Монгольского складчатого пояса. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 229 с.

62 Шенгёр А.М.С., Натальин Б.А., Буртман В.С. Тектоническая эволюция Алтаид // Геология и геофизика.– 1994.– № 7-8.- С. 41-58.

63 Şengör A.M.C., Natal'in B.A. Paleotectonics of Asia: fragments of a synthesis in Tectonic Evolution of Asia, eds. An Yin and Mark Harrison, Cambridge University Press, 1996.– P. 486-640.

64 Şengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S. Altaids, evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia //Nature – 1993. V. 364.– P. 299-307.

65 Основы металлогенического анализа при геологическом картировании. Металлогения геодинамических обстановок. М.: Геокарт, 1995.– 468 с.

66 Жолтаев Г.Ж. Геодинамическая модель Прикаспийской синеклизы в палеозое //Геология Казахстана .–1996. №5.– С.41-53.

67 Жолтаев Г.Ж., Куандыков Б.М. Геодинамическая модель строения юга Евразии //Нефть и газ. 1999. №2. С.62-74.

68 Жолтаев Г.Ж. Тектоника Большого Каспия //Нефть и газ. 2003.– №3.– С.13-23.

69 Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000)–М.: Изд-во Научный Мир, 2001.– 606 с.

70 Атлас литолого-палеогеографических палинспастических и геоэкологических карт Центральной Евразии». – Алматы: НИИ Природных Ресурсов ЮГГЕО, 2002.

71 Перчук А.Л. Петрология и минеральная хронометрия коровых эклогитов: Автореф. дис. д. г. –м. н.– Москва, 2004.

72 Maruyama Sh. Plum tectonics// J. Geol. Soc. Japan. 1994. V.100, N 1.P. 490-596.

73 Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: СО РАН, филиал «ГЕО», 2001.– 409 с.

74 Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Палеогеодинамика. М.: Наука, 1993. 192 с.

75 Трубицын В.П., Белавина Ю.Ф., Рыков В.В., Шлесберг С.Г. Влияние надвига континентов на наклон зон субдукции //Докл. РАН. 1995. т.344, № 3. С. 391-393.

- 76 Трубицын В.П., Шапиро М.Н., Рыков В.В. Численное моделирование доплиоценовых минтийных течений в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг // Физика Земли, 1998, №4. С.10-19.
- 77 Ушаков С.А. Строение и развитие Земли // Физика Земли. М.: ВИНТИ, 1974. – Т. 1. –269с.
- 78 Геодинамика // Геофизика океана. – Наука, 1979. Т.2.– 416 с.
- 79 Монин А.С., Сорохтин О.Г. Об объемной гравитационной дифференциации Земли // Докл. АН СССР, 1981. Т. 259. № 5. С. 1076-1079.
- 80 Монин А.С., Сорохтин О.Г. Тепловая эволюция Земли при объемном механизме дифференциации ее недр // Докл. АН СССР. – 1982.–Т. 266. –№ 1. – С. 63-67.
- 81 Монин А.С., Сорохтин О.Г. Планетарная эволюция Земли // М.: Наука, 1983.
- 82 Монин А.С., Сорохтин О.Г. О тектонической периодизации истории Земли //Докл. АН СССР. 1977. Т.234, № 2. с.1025-1030.
- 83 Монин А.С., Сорохтин О.Г. Эволюция Земли при объемной дифференциации ее недр // Докл. АН СССР. –1982.– Т.263.– № 3.– С. 572-575.
- 84 Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1994. 229
- 85 Тесленко Т.Л. Геодинамические условия формирования литосферы. – Алматы: «ЖАНИЯ-Полиграф». 2006.– 229 с.
- 86 Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1986. –272 с.
- 87 Тесленко Т.Л. Анализ геологических терминов. //«Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030»: Мат. Междунар. науч. конф. Караганда, 2006.
- 88 Тесленко Т.Л. Использование геоинформационных систем для определения геодинамической обстановки формирования геологических структур Казахстана: Материалы II Междунар. научно-практ. конф. Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ., 2005. Ч II –С. 41-48.
- 89 Шепард Ф.П. Морская геология. Л.: Недра, 1976.– 488 с.
- 90 Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику.– М.: Недра, 1979.– 311 с.
- 91 Karig D.E. Origin and development of the marginal basins in the western Pacific // J. Geophys. Res. –1971.– Vol. 76.– P. 2542–2561
- 92 Packham G.H., Falvey D.A. An hypothesis for the formation of marginal seas in the Western Pacific // Tectonophysics. –1971. –Vol.11,– N 1.– P. 79-109.
- 93 Артющков Е.В. Геодинамика – М.: Наука, 1979. – 320 с.
- 94 Molnar P., Atwater T. Interarc spreading and cordilleran tectonics as alternates related to the age of subducted oceanic lithosphere // Earth and Planet. Sci. Lett. –1978. –P.330-340
- 95 Chase C. Extension behind island arcs and mountins relative to hot spots // Ibid.1978. –Vol. 83. –P. 5385-5387

96 Nelson T. H., Temple P.G. Mainstream mantle convection: A geological analysis of plate motion // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. –1972. –Vol. 56.– P.226–246.

97 Moberly R. Origin of lithosphere behind island arc with reference to the western Pacific // Geol. Soc. Amer. Mem. 1978. Vol. 132. P.35-55

98 Шеменда А.И. Моделирование механизма раскрытия некоторых типов краевых морей //Океанология.– 1985. Т.25.– Вып. 2. С.265-273.

99 Kanamori H. Seismic and aseismic slip along subduction zones and their tectonic implications // Island arcs, deep sea trenches and bac arc basins /Ed. M. Talwani, W.C. Pitman. Wash. (D.C.): AGU, 1977.– P. 273–284. (M. Ewing ser. Vol. 1).

100 Sleep N.H., Toksöz M.N. Evolution of marginal basins //Nature. 1973.– Vol. 233.– N 4250.– P.548–550.

101 Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Глубинная геодинамика Земли // Геология и геофизика. 1993. Т.34, № 4. С.3-13.

102 Геологический словарь. – М.: Недра, 1978. Т.2.

103 Геология океана, геологическая история океана. М.,Наука, 1980.464 с.

104 Гаврилов А.А., Герасименко М.Д., Коломиец А.Г. Данные GPS мониторинга и морфотектоника Востока Азии // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: Материалы XXXVIII тектонического совещания.– М.: ГЕОС, 2005.Т. 1. –С. 110.

105 Turcotte D.L., Oxburgh E.R. Intra-plate volcanism //Phil. trans. Roy. Soc. London, 1978.– Vol. 288. A.–P. 561-579.

106Тектоническая карта мира масштаба 1:15000000. /Министерство геологии СССР (ВСЕГЕИ). Ленинград, 1982.

107 Pacific ocean floor. Produced in the Geographic Art Division. October 1969.

108Тесленко Т.Л. Модель формирования спрединговых морей и энсиалических дуг. //Депон.научн.раб.: Реф.сб. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004.– Вып.1.

109 Тесленко Т.Л. Геодинамические условия формирования окраинных морей и энсиалических дуг на примере Казахстана //Изв. НАН РК Сер. геол., 2005. №4.– С.95-99.

110 Семенова Т.П.. Возраст горных пород некоторых районов Казахстана. – Алма-Ата: КазНИИМС, 1969.

111 Боровиков Л.И., Малов В.Д., Пупышев Н.А., Яговкин В.И. Стратиграфия докембрийских образований Восточного Казахстана и проблемы ее изучения //Стратиграфическое совещание по допалеозою и палеозою Казахстана: Тез. докл.– Алма-Ата, 1971. – С.19.

112 Боровиков Л.И. Одна из основных причин ошибок в стратиграфии древних толщ, отражающихся на достоверности тектонических и металлогенических концепций //27-й Междунар. геол. конгр.: Тез. докл. –1984.– Т.5.–С. 26.

113 Ковалев А.А., Леоненко Е.И., Ушаков С.А. Об ошибочных датировках возраста метаморфитов, образованных по породам океанической

коры //Жизнь Земли (геодинамика и минеральные ресурсы).– М.: МГУ, 1988. – С.85–87.

114 Иванов К.С., Иванов С.Н., Пучков В.Н. Время существования океанической коры на Южном Урале // ДАН СССР. -1984. – Т. 274, № 4. с. 897-900.

115 Пучков В. Н. Рекомендации по поискам и обработке конодонтов на поверхностях слоистости бескарбонатных пород //Конодонты Урала и их стратиграфическое значение. Свердловск: 1979.С. 33—51.

116 Пучков В. И., Иванов К. С. Новые данные по стратиграфии вулканогенно-кремнистых толщ Нязепетровского района//Ежегодник-1981. Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Свердловск, 1982.С. 5—8.

117 Тесленко Т.Л. Роль местных стратиграфических подразделений в теории тектоники литосферных плит. //Депон.научн.раб.: Реф.сб. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004.– Вып.1.

118 Тесленко Т.Л. Методика применения теории тектоники литосферных плит для переинтерпретации геологических материалов. // //Новости науки Казахстана: науч.-техн. сб. Алматы: НЦ ИНТИ РК, 2005. – №1 С.17-24.

119 Тесленко Т.Л. Об определении возраста магматических и метаморфических массивов //Геология и охрана недр. 2006.– № 1.– С 21-24.

120 Тесленко Т.Л.Об определении возраста метаморфических массивов Восточного Казахстана //Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан.– 2005.– №4 (18).– С. 92-96.

121Тесленко Т.Л. О возрасте пород и возрасте структурных элементов земной коры //Сб. трудов. Междунар. конф., посвящ. 70-летию КазНТУ им. К.И. Сатпаева. –Алматы, 2004

122 Бортников Н.С., Федоров Д.Т., Муравьев К.Г. Минеральный состав и условия образования сульфидных построек бассейна Лау (ЮЗ часть Тихого океана) //Геология рудных месторождений. 1993.– Т.35.– № 6. – С. 528-544.

123 Eguchi T., Uyeda S., Seismotectonics of the Okinawa trough and Ryukyu arc. //Geol. Soc. China. Met.– 1983.– № 5.–Р. 189–210.

124 Шараськин А.Я. Тектоника и магматизм окраинных морей в связи с проблемами эволюции коры и мантии. М.: Наука, 1991.– 163 с.

125 Зоненшайн А.П., А.П. Кузьмин М.И., Моралев В.М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М., 1976. 228 с.

126 Kovalev A.A. New genetic classification of endogenic mineral deposits // Abstract, 2000, 31 IGC, Rio de Janeiro.

127 Halbach P.E., Marten A., Schwanold G. Present-day Kuroko-type ore formation – results from the central Okinawa trough. – In: Source, Transp. and Deposit. Metals: Proc. 25 Years SGA Anniv. Meet., Nancy, 25 Aug.–3 Sept., 1991. – Rotterdam; Brookfield [Vt.], 1991. P.623–626.

128 Halbach P., Nakamura Koichi, Wahsner M. et al. Probable modern analogue of Kuroko-type massive sulphide deposits in Okinawa Trough back-arc basin // Nature.– 1989.– V. 338.– № 6215.– 3.496–499.

129 Minniti M., Bonavia F.F. Cooper-ore grade hydrothermal mineralization discovered in a seamount in the Tyrrhenian Sea [Mediterranean]: is the mineralisation

related to porphyry-copper on to base metal lodes? – *Mar. Geol.*– 1984 – V. 59.– № ¼. – P. 271-282.

130 Tufar W. Paragenesis of complex massive sulphide ores from the Tyrrhenian Sea. – *Mitt. Osterr. Geol. Ges.*–1991.– V.85.– P.265-300.

131 Зайков В.В., Масленников В.В. Сульфидные постройки на гидротермальных полях острова Итуруп (Курилы). // В кн.: Продукты разрушения гидротермальных построек в колчеданосных районах.– Свердловск: УрО АН СССР, 1991.–С.182–187.

132 Школьник Э.Л. и др. Фосфориты гайотов Западной Пацифики. //Геология океанов и морей: Тезисы докл. 1-ой Междунар. шк. морской геологии. М.: ИО РАН, 1992.– Т.3. С. 105-106.

133 Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Зоненшайн Л.П. и др. Гидротермальные проявления Срединно-Атлантического хребта на 26<sup>0</sup> с.ш. (гидротермальное поле ТАГ) // Изв. АН СССР. Сер. Геол.– 1989, –№ 13.– С.3-20.

134 Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Lisitzin A.P. et.al. Tectonic of the Mid-Atlantic rift valley between the TAG and MARK areas [16-24<sup>0</sup>N]: evidence of vertical tectonism.– *Tectonophysics*. 1989.– V.159.– P. 1-23.

135 Гидротермальные системы и осадочные формации срединно-океанических хребтов Атлантики / Лисицын А.П., Богданов Ю.А.и др. М.: Наука, 1993.– 256 с.

136 Goodfellow W.D. The Middle Valley hydrothermal system: implications for the genesis of ancient sediment-hosted seafloor sulphide deposits. Underwater Mining Institute – November.– 1993.– P. 50-55.

137 Koski R.F., Normark W.R., Norton J.I. Massive sulphide deposits on the Southern Juan de Fuca Ridge: results of investigations in the USGS study area 1980-1983.– *Mar. Mining*, 1985.– V. 5.– №2.– P.147-164.

138 The Canadian Mineralogist: Seafloor hydrothermal mineralization, 1988.–V.26.– Pt 3.–P.429-888.

139 Сульфиды Восточно-Тихоокеанского поднятия. – М.: ВИМС, 1993.– 154 с.

140 Herzig P.M., Becker K.P., Stoffers P. et al. Hydrothermal silica chimney fields in Galapagos Spreading Center at 86° W.– *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1989.– P.261-272.

141 Монин А.С., Плахин Е.А., Стунжас П.А. О расслоении горячих рассолов впадины Атлантик-II. // Докл. АН СССР.– 1980.– Т.255.– №2.– С.458-462.

142 Тесленко Т.Л. К вопросу о геодинамических условиях возникновения и генетической классификации месторождений полезных ископаемых //«Актуальные проблемы геологии и геофизики»: Мат. науч. конф. Ташкент 2007.

143 Ковалев А.А., Леоненко Е.И., Ушаков С.А. Новый принцип составления тектонических карт (с позиций теории тектоники литосферных плит) //Жизнь Земли: сб.тр.– М.: Изд-во МГУ, 1984. – С. 31-35.

- 144 Геология СССР.– Восточный Казахстан. М.-Л.: Госгеолиздат, 1941. – Т. XX – 863 с.
- 145 Шатский Н.С. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1964, Т. II – 720 с.
- 146 Шатский Н.С. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1963, Т. I – 623 с.
- 147 Архангельский А.Д. Геологическое строение и геологическая история СССР.– М., Госгеолиздат, 1947.– Т. I.– 416 с
- 148 Архангельский А.Д. Геологическое строение и геологическая история СССР. Т. II, 1948, 372 с. – М., Госгеолиздат, 1948.– Т. II.– 372 с.
- 149 Авдеев А.В., Сеитов Н.С. Офиолиты Кемпирсайского и Хабаринского массивов //Информ. Сб. ИГН – Алма-Ата, 1974.
- 150 Авдеев А.В., Сеитов Н.С. Типовая модель развития офиолитовых зон Казахстана // Проблемы петрологии Казахстана: Тезисы III Казахстан. петрограф. совещ. – Алма-Ата, 1984. – Т. I. – С.30-31.
- 151 Сеитов Н.С. Тектоника плит и офиолитовые зоны Казахстана (принципы умеренного мобилизма)». Алма-Ата: 1988. -112 с.
- 152 Аполлонов М.К. Геодинамическая эволюция Казахстана в раннем палеозое (с позиций классической тектоники плит) //Геодинамика и минерагения Казахстана. Алматы, 2000.– Ч. I. С. 46-63.
- 153 Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра, 1990.– 662 с.
- 154 Любецкий В.Н., Любецкая Л.Д. Геодинамические обстановки формирования проявлений алмазов в Северном Казахстане //Геология и охрана недр.– 2005.– №3.
- 155 Ротараш И.А., Гредюшко Е.А. История формирования и строение серпентинитового меланжа Зайсанской складчатой области //Геотектоника.– 1974.– № 4 – С. 73-79.
- 156 Ротараш И.А. Интрузивные комплексы //Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500 000. Серия Восточно-Казахстанская. Объяснительная записка. – Алма-Ата, 1979.– С.100-102.
- 157 Карта геологических формаций Восточного Казахстана масштаба 1:1500000.– М.: Недра, 1971.
- 158 Карта геологических формаций Восточного Казахстана масштаба 1:1500000 //Пояснит. записка.– М.: Недра, 1971.
- 159 Абдуллин А.А., Касымов М.А., Малицкий О.В., Матвиенко В.Н., Токмачева С.Г., Ярославцева Н.С. Осадочные породы докембрия Казахстана // Литология и осадочная геология докембрия: Сб.тр. – Алма-Ата: Наука, 1981. – С. 27.
- 160 Макрыгина В.А., Возможности реставрации состава и условий формирования докембрийских метаморфических толщ // В сб. Литология и осадочная геология докембрия. – Алма-Ата: Наука, 1981.– С.15.
- 161 Анкинович С.Г. Нижний палеозой ванадиеносного бассейна Северного Тянь-Шаня и западной окраины Центрального Казахстана.– Алма-Ата: Изд-во АН Каз ССР 1961.– Ч. I. С. 271

162 Смирнов Г.А., Смирнова Т.А. О возрасте гранитных интрузий Урала// Доклады АН СССР.– 1953.– Т. ХС.– № 6.

163 Мазина Е.А., Ксенофонтов О.К. Особенности магматизма северной части Тургайского прогиба и основные этапы его развития. // Геология Тургайского прогиба.: Тр. ВСЕГЕИ.–1961.– Нов. Серия.– Вып. 43.

164 Глушкова Г.А. Новые данные о петрологии Мариновского гнейсо-магматитового комплекса: Тезисы докл. /II Уральск. петрограф. совещ. Ч.V. Метаморфизм.– Свердловск, 1966.

165 Бекжанов Г.В., Кошкин В.Я., Никитченко И.И. и др. Геологическое строение Казахстана.– Алматы: Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2000. – 396 с.

166 Тесленко Т.Л., Замков Г.В. ГИС-технологии в геодинамическом анализе тектоники Казахстана //Современные информационные технологии в геологоразведочной и добывающей отраслях (технологии будущего): Мат. Междунар. науч. конф.–Усть-Каменогорск, 2006.

167 Тесленко Т.Л., Замков Г.В. Анализ геодинамических условий формирования коры с помощью ГИС-технологий. // Новости науки Казахстана: науч.-техн. сб. Алматы: НЦ ИНТИ РК, 2006.– №2 С.19-24.

168 Тесленко Т.Л. Использование геоинформационных систем для определения геодинамической обстановки формирования геологических структур Казахстана //Материалы II Междунар. Научно-практич. Конф., 26-30 сент.2005 г. Ч. II /Изд-во ВКГТУ. Усть-Каменогорск, 2005. 41-48 с.

169 Хаин В.Е., Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. Историческая геология: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 448 с.

170 Хаин В.Е. Глобальная геодинамика на пороге нового века. /Геотектоника №4, 2002.

171 Тесленко Т.Л. Геодинамические условия формирования тектоники Казахстана //«Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030»: Мат. Междунар. науч. конф. Караганда, 2006.

172 Бекмухаметова З.А., Ешпанов К.Б. Сравнительная характеристика изотопного состава углерода алмазов метаморфитов Кокшетауского массива и кимберлитов Якутии //Современные проблемы геологии, минерагении и комплексного освоения месторождений полезных ископаемых Большого Алтая: Материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Усть-Каменогорск, 2003. – Часть 1.,– С. 106-107.

173 Тесленко Т.Л. Геодинамические условия образования МПИ в Лениногорско-Зыряновском горнорудном районе //Проблемы геол. и разв. МПИ. Материалы геол. конф. /Томск: изд-во ТПУ, 2005. 605 с.

174 Тесленко Т.Л. Геодинамические условия формирования Лениногорско-Зыряновского горнорудного района. //Депон.научн.раб.: Реф.сб. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004.– Вып.1.

175 Тесленко Т.Л. Геодинамические условия формирования метаморфических массивов Восточного Казахстана. //Депон.научн.раб.: Реф.сб. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004.– Вып.1.

176 Тесленко Т.Л. Геодинамические условия образования МПИ в Лениногорско-Зыряновском горнорудном районе. //Депон. научн. Раб.: Реф.сб. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004.– Вып.1.

177 Тесленко Т.Л. Модель эволюции Рудного Алтая и прилегающих территорий. //Депон.научн.раб.: Реф.сб. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004.– Вып.1.

178 Тесленко Т.Л. Геодинамический анализ условий формирования Лениногорско-Зыряновского горнорудного района //Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан.– 2005, № 2 (16).– С. 92-96.

179 Отчет о НИР. Оценка сейсмичности г. Дальнегорска // Е.А.Шеин, А.И. Цирко, Т.Л.Тесленко, Д.Д. Шампикова, г.Алма-Ата, 1989.

180 Отчет о НИР. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия фосфоритовых месторождений Малого Каратау. Отчет о НИР (заключительный), том 1. № ГР 7880780087. Руководитель: С. М. Мухамеджанов, Исполнители: Шипулина В. Г., Куркина Л. А., Тесленко Т. Л., Сон К. И. и др. Алма-Ата, 1981, 214 с.

181 Отчет о НИР. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия фосфоритовых месторождений Малого Каратау. Отчет о НИР (заключительный), том 3. № ГР 7880780087. Руководитель: С. М. Мухамеджанов, Исполнители: Шипулина В. Г., Куркина Л. А., Тесленко Т. Л., Сон К. И. и др. Алма-Ата, 1981, 214 с.

182 Отчет о НИР. Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование мероприятий, обеспечивающих оптимальные условия ведения открытых и подземных горных работ на рудниках КФБ: отчет о НИР (заключительный этап II), текст, гл. 1,2. Организационная базовая структура и методика стационарной рудничной службы, как основа оптимизации эксплуатационных горных работ. Руководитель В.Г.Шипулина; – Исполн. Шипулина В. Г., Тесленко Т. Л., Куркина Л. А. № ГР 01850083341; Алма-Ата, 1986. –200 с.

183 Отчет о НИР. Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование мероприятий, обеспечивающих оптимальные условия ведения открытых и подземных горных работ на рудниках КФБ: отчет о НИР (заключительный этап IV, гл. 1-5 «Инженерно-геологические и гидрогеологические прогнозы в системе оптимизации эксплуатационных горных работ»). Руководитель В. Г.Шипулина; № ГР 01850083341; – Исполн. Шипулина В.Г., Т. Л. Тесленко, Молчанова Н. М., Виль И. Алма-Ата, 1987. – 289 с.

184 Отчет о НИР. Условия, причины и механизм деформаций Южного борта карьера «Северо-Западный». Оценка устойчивости откосов. Рекомендации по управлению устойчивостью: Отчет о НИР (заключительный. Этап II); № ГР 01850083341, Руководитель В. Г. Шипулина, Исполнители: В. Г. Шипулина, Т. Л.Тесленко, Н. М. Молчанова, Д. Д. Дуйсембин. Алма-Ата, 1987. -190с.

185 Отчет о НИР. Инженерно-геологические и гидрогеологические прогнозы в системе оптимизации эксплуатационных горных работ. ПО «Каратау», Жанатас. Отчет о НИР, (заключительный этап 4), № ГР



01850083341, 257 стр. Руководитель В. Г. Шипулина, Исполнители: Т. Л. Тесленко, Н. М. Молчанова, Д. Д. Дуйсембин, И. Виль, Л. Искакова, И. Солоненко, С. Логинова, Р. Джамбулова. Жанатас, 1988,

186 Отчет о НИР. Организационная базовая структура и методика стационарной рудничной службы, как основа оптимизации эксплуатационных горных работ. ПО «Каратау», Жанатас. Отчет о НИР, этап 3, № ГР 01850083341, 158 стр. Исполнители: Л. А. Куркина, Т. Л. Тесленко, Н. М. Молчанова. Жанатас, 1988.

187 Отчет о НИР. Организационная базовая структура и методика стационарной рудничной службы, как основа оптимизации эксплуатационных горных работ. ПО «Каратау», Жанатас. Отчет о НИР, (заключительный этап 4), Алма-Ата, 1988, № ГР 01850083341, 210 с. Руководитель В. Г. Шипулина. Исполнители: В. Г. Шипулина, Т. Л. Тесленко

188 Отчет о НИР. Разработать рекомендации по предварительному осушению разрезных траншей и составить инженерно-геологический атлас скальных массивов с выдачей рекомендаций по оформлению бортов в конечном контуре /в связи с реконструкцией карьеров блок II и III рудника Центральный/. Отчет о НИР (заключительный) /книга 1, ч.1/., № ГР 01890067353, 242с. Руководитель В. Г. Шипулина, Д. С. Кунаев. Исполнители: В. Г. Шипулина, Б. М. Абишев, М. Р. Гуламов, Т. Л. Тесленко. Алма-Ата, 1990

189 Отчет о НИР. Инженерно-геологическое обоснование мероприятий, обеспечивающих оптимальные условия ведения открытых и подземных горных работ. ПО «Каратау», Жанатас. Отчет о НИР, этап 2, г., № ГР 01850083341, 277 стр. Исполнители: Куркина Л. А., Дуйсембин Д. Д., Тесленко Т. Л., Молчанова Н. М. Жанатас, 1987

190 Отчет о НИР. Разработать рекомендации по предварительному осушению разрезных траншей и составить инженерно-геологический атлас скальных массивов с выдачей рекомендаций по оформлению бортов в конечном контуре /в связи с реконструкцией карьеров блок II и III рудника Центральный/. Отчет о НИР (заключительный) /книга 2/. № ГР 01890067353, 221с. Руководитель В. Г. Шипулина, Д. С. Кунаев. Исполнители: В. Г. Шипулина, Б. М. Абишев, М. Р. Гуламов, Т. Л. Тесленко. Алма-Ата, 1990

191 Отчет о НИР. Бочкарев В.П., Жданович А.Р., Митрофанова А.Н., Новицкий С.А., Сапрыкина О.Н., Спиридонова Г.А., Тесленко Т.Л., Шипулина В.Г. Геоэкология, природные ресурсы и геодинамика горных геосистем Юго-Восточного Казахстана. /Программа Ф.0098 Геология, минералогия, закономерности формирования, размещения и прогноз полезных ископаемых на территории Казахстана, МОН РК, Ин-т геол. наук им. К.И. Сатпаева Алма-Ата, 1999

192 Отчет о НИР. Т.Л. Тесленко, В.П. Бочкарев, А.А. Машанов, О.Н. Сапрыкина, Г.В. Замков. Обследование состояния Южного и Юго-восточного бортов Зыряновского карьера и оценка их устойчивости. Пояснительная записка к отчету. Алма-Ата, ГИДРОПРОЕКТ, ТОО «КАЗГИДРО», 1999

193 Отчет о НИР. Опасные геодинамические процессы на территории Казахстана. Алма-Ата, ГИДРОПРОЕКТ, ТОО «КАЗГИДРО», 1999

194 Отчет о НИР. Бураков М.М., Тесленко Т.Л. и др. Инженерно-геологическое заключение для эксплуатации Соколовско-Сарбайского подземного рудника РГП «НЦ КПМС РК». Алматы, 2005.

195 Бочкарев В.П. , Краснов Б.А., Новицкий С.А., Подольный О.В., Тесленко Т.Л., Шипулина В.Г. Опасные геодинамические процессы на территории Казахстана. Пояснит. записка к комплекту карт Казахстана масштаба 1:2000000, Кокшетау, 2004

196 Бочкарев В.П. , Краснов Б.А., Подольный О.В., Тесленко Т.Л. Карта районирования по режиму быстроизменяющихся факторов формирования и активности опасных геодинамических процессов. масштаба 1:2000000. Комплект карт Казахстана масштаба 1:2000000, Кокшетау, 2004

197 Бочкарев В.П. , Краснов Б.А., Новицкий С.А., Подольный О.В., Тесленко Т.Л., Шипулина В.Г. Казакстан аумағындағы қауіпті геодинамикалық процестер // Масштабы 1:2000000. Казакстан картасының жинағына тусіндірме жазба Кокшетау, 2004.

198 Бочкарев В.П. , Краснов Б.А., Новицкий С.А., Подольный О.В., Тесленко Т.Л., Шипулина В.Г. Казакстанды қауіпті геодинамиклық процестердің тез өзгеретін факторларының қалыптасу жөне белсенділік режимі бойынша аудандау картасы // Масштабы 1:2000000. Кокшетау, 2004

199 Kasymbekov Daut, Bochkarev V.P. Podolny O.V., Teslenko T.L., Uzkenov B.S. Map of engineering-geological zoning of Kazakhstan by conditions of dangerous geodynamic processes formation a scale 1:2000000. 32<sup>nd</sup> IGC Florence 2004 – Scientific Sessions: abstracts (part 1) – 489.

200 Мухамеджанов С.М., Тесленко Т.Л. Применение геодинамического анализа для прогноза развития инженерно-геологических процессов. Проблемы геол. и разв.МПИ. Материалы геол. конф. /Томск: изд-во ТПУ, 2005. 605 с.

201 Тесленко Т.Л. Развитие техногенных процессов при разработке месторождений. Промышленность Казахстана № 4 (31), 08. 2005

202 Ракишев Б.Р., Машанов А.А., Тесленко Т.Л. Анализ геотектоники при проектировании горных предприятий. //Горный информационно-аналитический бюллетень №3, 239-244 с., М.: 2007.

203 Машанов А.А., Тесленко Т.Л. Геодинамические условия формирования трещинной тектоники //Новости науки Казахстана: науч.-техн. сб. Алматы: НЦ ИНТИ РК, 2006. – №2 С.12-18.

204 Машанов А.А., Тесленко Т.Л., Арзуева Э.В. Взаимосвязь трещинной тектоники различных уровней //Геодезия, картография, геоинформационные системы, 2004. –№4. С. 3-12

205 Тесленко Т.Л., Бажанова А.В. и др. Изучение изменения трещиноватости и закарстованности карбонатных пород, вскрытых карьером КазНИИИНТИ деп.3028 Ка 90 № 7 /225

206 Калаченко А.А., Тесленко Т.Л. Тренд-анализ карстующихся массивов фосфоритового месторождения «Коксу». Вестник КазНТУ № 3, 1996

207 Тесленко Т.Л. Типизация месторождения Коксу по сложности инженерно-геологических условий отработки. Вопросы геологии и металлогении Казахстана /Межвузовский сб. научных трудов. Алматы 1996

208 Тесленко Т.Л. Исследование влияния макроструктур скальных массивов на деформируемость бортов карьеров месторождения Жанатас КазНИИНТИ деп.3774 Ка 92 9.07.92

209 Тесленко Т.Л. Определение устойчивости откосов аналитическими методами. Вопр. геол. и метал. Казахстана /Межвуз. Сбор.Науч.Тр. Алматы 1996.

210 Машанов А.А., Тесленко Т.Л., Толеуов Б.Т. Определение угла наклона поверхности ослабления откоса карьера графическими методами //Геодезия, картография, геоинформационные системы, 2004. –№4. С. 13-23

211 Тесленко Т.Л. Методика определения углов устойчивых откосов //Новости науки Казахстана: науч.-техн. сб. Алматы: НЦ ИНТИ РК, 2005. – №3 С.20-26.

212 Машанов А.А., Тесленко Т.Л. Определение угла наклона поверхности ослабления в откосе карьера /Труды Международной научной конференции «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030» вып 2, Караганда 2006, 3 с.

213 Байбатша А.Б., Кузнецова И.А., Плотникова Е.В., Тесленко Т.Л. Оценка трещиноватости борта Зыряновского карьера по данным фототеодолитной съемки. /Горное дело, геология и металлургия: Труды первой международной горнопрактич. конф. «Горное дело в Казахстане». Состояние и перспективы: Алматы: РИО ВАК, 2000. Вып.1. 620с.

214 Байбатша А.Б., Тесленко Т.Л. Инженерно-геологическая типизация борта Зыряновского карьера по данным фототеодолитной съемки. /Горное дело, геология и металлургия: Труды первой международной горнопрактической конференции «Горное дело в Казахстане». Состояние и перспективы: Алматы: РИО ВАК, 2000.Вып.1.620с.

215 Тесленко Т.Л. Геомониторинг природно-техногенных процессов в карьерах. // Устойчивость, антропогенная трансф. и оптимиз. природн. среды Казахстана /сб. докладов Респуб. научной конф. Алматы, КазГУ.1998г. С.262-265

216 Бочкарев В.П., Тесленко Т.Л. Проблемы геомониторинга горнорудных районов Казахстана // Географические основы устойчивого развития Респ. Казахстан Алматы «Галым», 1998г. С.351-356

217 Байбатша А.Б., Тесленко Т.Л. Об организации геомониторинга для решения проблемы охраны окружающей среды Актуал. пробл. эколог./Мат. межд. науч. - практ. конф. Караганда,2002.

218 Тесленко Т.Л. Организация геомониторинга на горнорудных объектах / Гидрометеорология и экология, № 1, 2006 г.С.189-200

219 Тесленко Т.Л. Применение объемного моделирования для организации базовой структуры геомониторинга на горнорудных объектах //Материалы II научно-практич. Конф. «состояние и перспект информатизации в РК», ч.II Усть-Каменогорск, 2005, 34-41 с.

220 Байбатша А.Б., Тесленко Т.Л. Экологические аспекты проблемы консервации Зыряновского рудника /Горное дело, геология и металлургия:

Труды первой международной горнопрактической конференции «Горное дело в Казахстане». Состояние и перспективы: Алматы: РИО ВАК, 2000. Вып. 1. 620 с.

221 Байбатша А.Б., Тесленко Т.Л. Экологический мониторинг – основа управления геологической службой. Сб. труды междунар. научной конференции «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан 2030», посвященной 10-летию независимости Казахстана вып. 2 Караганда, 2001.

222 Тесленко Т.Л. Оценка инженерно-геологических условий карьеров на стадии ликвидации. Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии: Материалы междунаучно-практ. Конф. Алматы: КазНТУ, 2002

223 Шеин Е.А., Шампикова Д., Цирко А.И. Тесленко Т.Л. Особенности инженерно-геологического и сейсмотектонического строения г. Жанатас и площади рудника Кок-Джон КазНИИТИ деп. 2785 Ка 89 М., 1989 № 2 /218

224 Машанов А.А. Трещиноватость горных пород. Алматы, 2000 – 124 с.

225 Федоров Е.С. Симметрия кристаллов. Основные работы. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – 630 с.

Научное издание

Тесленко Татьяна Львовна

ФОРМИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ  
КАЗАХСТАНА

Отпечатано с оригинала автора

Подписано в печать 25 сентября 2007 г.  
Тираж 200 экз. Формат 60х84 1/16. Бумага типогр. №1  
Объем 14,5 п.л. Заказ № 152.

Отпечатано в типографии ИП Сагаутдинова М.Ш.  
тел. 221-84-55