

## ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.24

Е.П. УСПЕНСКИЙ

## ОРОГЕНЕЗ КАК СЛЕДСТВИЕ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НАЧАЛЬНОЙ И КОНЕЧНОЙ СТАДИЙ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

Автором выделены начальный и финальный типы орогенеза по связи с первой и заключительной стадиями тектонических циклов. Геодинамические условия и механизмы орогенеза этих стадий различны. Представления о принадлежности новейших орогенов юга Европы, Центральной Азии и других к категории коллизионных структур не подтверждаются.

При изучении процессов орогенеза (горообразования) возникает необходимость рассмотреть тесно связанные вопросы геоморфологии и тектоники.

Э. Зюсс в начале XX в. выделил различные формы тектонических структур в современной орографии горных стран, В. Тейссейр предложил соответствующий термин «оротектоника» [15]. С.С. Шульц [33] ввел понятие «новейшая тектоника» для обозначения процессов, создавших основные черты современного рельефа.

В.А. Обручев [17] рассматривал движения в позднем кайнозое, как один из циклов тектогенеза продолжительностью 35—40 млн. лет.

С учетом геологической предыстории различают орогенные пояса эпигеосинклинального и эпиплатформенного типов. Эти термины появились в 60-х гг. прошлого века в работах С.С. Шульца, А.Л. Яншина, В.Е. Хаина и др. [15].

В настоящее время существуют весьма неоднозначные, часто исключаящие один другой взгляды на тектонические условия проявления орогенеза, создаются классификации орогенов на разных основах.

Н.И. Николаев [15, 16], В.В. Белоусов [4] и другие для неотектонического этапа развития земной коры признавали ведущее значение вертикальных движений. Эти ученые пришли к выводу, что процесс эпиплатформенного орогенеза по внешним признакам и положению в эндогенном цикле вполне сходен с эпигеосинклинальным орогенезом и их следует объединять в самостоятельный орогенный этап, противопоставляя платформенному и геосинклинальному этапам тектонического развития [4, 16].

Сторонники неомобилизма связывают вертикальные движения земной коры на континентах с горизонтальными перемещениями литосферных плит. Так, В.Е. Хаин [29, 30] относит области эпиплатформенного орогенеза внеальпийской Централь-

ной и Западной Европы, Атласа и Анти-Атласа к типу «вторичных перигеосинклинальных орогенов». По его мнению, горообразование в этих зонах и сопредельном сегменте Средиземноморско-Индонезийского подвижного пояса происходило в конце кайнозоя в условиях общего для них тангенциального сжатия при «коллизии» литосферных плит. К типу коллизионных структур отнесены и горные сооружения Гималаев, Гиндукуша, Памира, Тибета, Кунь-Луния, Тянь-Шаня. Выделены также периокеанические (Бразильское нагорье, Аппалачи и др.) и внутриплитные (Урал, Бырранга, нагорье Путорана на Сибирской платформе, Хоггар и Тибести на севере Африки) типы орогенов. Позже эта классификация была дополнена с позиции плейттектоники [31].

Е.Е. Милановский [12] впервые высказал важную мысль, что неотектоническая эпоха широкого проявления эпиплатформенного горообразования является началом нового постальпийского геопульсационного цикла, отмеченного глобальными процессами растяжения коры и, возможно, некоторым увеличением объема Земли.

В.М. Цейслер и Н.И. Корчуганова [32], рассматривая структурные особенности орогенов Евразии и Африки, подчеркнули, что формирование и многообразие всех горных сооружений невозможно представить на основе какой-либо одной из тектонических парадигм.

Комплексная интерпретация геофизических данных о строении и физическом состоянии тектоносферы Центральной и Восточной Европы привела специалистов к выводу, что ни тектоника плит, ни альтернативные гипотезы не могут удовлетворительно объяснить тектонические процессы [10].

Это и понятно, поскольку современным тектоническим гипотезам присущи очевидные недостатки, спорный характер, недоказанность ряда положений.

Например, исходные положения концепции В.В. Белоусова [3, 4, 14] положительно оценены многими исследователями. Однако признание этим автором адвекции в качестве главного механизма тектогенеза вызвало сомнения [27, 29, 30]. Вопросы возникают и в связи с выделением стадий тектонического цикла, трактовкой их содержания, причинами растяжения земной коры в начале геосинклинального этапа, механизмами складкообразования [28].

Положения гипотезы «тектоники литосферных плит», возродившей идеи мобилизма, весьма противоречивы и дискуссионны. Создаваемые схемы перемещения плит и террейнов лишены серьезно обоснования, представляют произвольные «реконструкции» [4, 5, 21]. Тектоника плит не объясняет механизмы вертикальных движений, не решает проблему происхождения складчатости. В последние годы на основе новых данных усиливается критика метафизической сущности плейттектоники, дается научное обоснование несостоятельности ее главных тезисов [5, 9, 10, 16, 18, 19, 22, 28].

Автор связывает перспективы решения существующих проблем с признанием в качестве главного механизма тектогенеза масштабных трансформаций плотностей вещества мантии и земной коры в сегментах тектоносферы под влиянием термофлюидных потоков периодического действия [18, 25–28].

Установленная М. Бертраном (1886 г.) периодичность тектогенеза связана с повторяющейся последовательностью эндогенных процессов. Тектонические циклы продолжительностью 100–350 млн. лет отражают пульсации теплового поля Земли, которым подчинен общий ритм движений и деформаций земной коры. Происхождение крупных геопульсаций вряд ли можно объяснить, не признавая реальность периодических изменений плотностей и объемов вещества мантии и литосферы. Такие изменения в процессах разуплотнения достигают 20%, а при контракции 18% [2–4, 14, 18, 26]. Указанные параметры подтверждены экспериментами, что говорит о реальности самих процессов и порождаемых ими колоссальных напряжений, которые нельзя не учитывать в тектонических построениях.

В тектоническом цикле нами выделяются пять стадий: активизации, начального погружения, контракции, инверсии и орогенеза [25, 27]. Представления о содержании стадий нужно дополнить характеристикой некоторых сторон эндогенных процессов, определяющих орогенез и сопутствующие явления.

Первая стадия цикла характеризуется активизацией верхней мантии. Под действием восходящего термофлюидного потока происходят разогревание материала этой сферы до 1500–1730°C, массовое поступление в нее летучих соединений, разуплотнение вещества, в том числе за счет фазовых переходов [2] и объемного эффекта реакции плавления. Понижение плотности в тектоносфере, рост объема верхней мантии обуславливает поднятие поверхности, растяжение, повышение проницаемости земной коры, рифтинг. Впадины заполняются континентальными и мелководными морскими терригенными осадками, отложениями лагун и озер, совместно образующими молассовый комплекс.

При значительной амплитуде поднятия проявляется «эпиplatformный» орогенез, охватывающий большие площади древних платформ и складчатых поясов разных возрастов [28]. В областях полициклического развития орогенез такого типа нередко начинается следом за эпигеосинклинальным орогенезом предшествующего этапа, до установления платформенных условий. Например, каледонский цикл развития ряда зон Центрального Казахстана закончился в силуре эпигеосинклинальным орогенезом, которому соответствует накопление пестроцветных, нередко грубооблачных моласс: Нуринский, Конский синклиналии, Калмык-Кульский прогиб, Чингиз. Вулканогенно-обломочные красноцветные молассы девона в этих зонах связаны с орогенезом начальной стадии герцинского цикла. Они с угловым несогласием перекрывают силурийские и более древние отложения.

Таким образом, с учетом связи «эпиplatformного» орогенеза с началом эндогенного цикла такой орогенез целесообразно именовать начальным.

Процессы горообразования, свойственные стадии активизации постальпийского цикла в неогене—антропогене, обусловлены поступлением мощного импульса тепла глобального проявления. Возникшие в эту эпоху горные системы Центральной и Юго-Восточной Азии, Южной Сибири, Средней и Западной Европы, Высокой Африки находятся в областях разогрева и разуплотнения верхней мантии [4, 10].

Палеозойский складчатый пояс Урала в мелу и в течение большей части кайнозоя представлял слабо приподнятое сооружение. Неотектонические движения вызвали сводово-глыбовые поднятия отдельных участков Уральского пояса с амплитудой 1–1,8 км [13]. В это же время формировался горный рельеф на месте позднекембрийской Верхояно-Колымской области, испытало поднятие плато Путорана. Воздымание Кордильер в Северной Америке также связано с неотектоническими движениями: в палеогене на их месте, по Ф. Кингу [7], простиралась болотистая равнина. Центральные Анды в Южной Америке возникли за время от среднего плиоцена до антропогена [4].

Воздействию импульса тепла в неогене—антропогене подвергся и Средиземноморско-Индонезийский подвижный пояс, где произошло наложение стадии активизации нового постальпийского цикла на стадию эпигеосинклинального орогенеза, завершающего альпийский цикл. Поступление глубинного тепла усилило процесс альпийского горообразования в этом поясе, инициировало вулканизм антидромного типа и переход к стадии начального погружения в его западном сегменте. Подобное наложение процессов сильно усложнило сценарий развития подвижного пояса, что стало источником ряда неадекватных тектонических представлений, обсуждаемых ниже.

Как отмечено, сторонники плейттектоники связывают новейший орогенез в обширных областях с общим латеральным сжатием коры в процессе «коллизии» литосферных плит. На самом деле зонам новейшего горообразования отвечают условия преобладающего растяжения, а не сжатия земной коры.

В области Средиземноморья режим растяжения установился с позднего миоцена—начала плиоцена. Он выразился в развитии многочисленных сбросов, грабенов (Паннонский массив), образовании депрессий, глубоких морских впадин, ограниченных сбросами. На платформе активно формировались рифты долин Рейна, Роны, неотектонические впадины. В полосе от Кавказа до Западного Средиземноморья условия растяжения сохраняются до настоящего времени [20].

Обстановка разуплотнения верхней мантии характерна и для области новейшего орогенеза Центральной Азии, находящейся в поле отрицательных изостатических аномалий [4, 16].

На огромной территории Центральной Азии кроме областей явного растяжения существуют и отдельные сегменты с признаками латерального сжатия: Монгольский Алтай, Алдано-Становое поднятия, некоторые зоны Тянь-Шаня. На восточной периферии Евразии выделяются островоджунные, внутри- и периконтинентальные новейшие орогены, где сочетаются структуры сжатия и растяжения [8]. В этой связи появились классификации с выделением орогенов: растяжения, сжатия и зон сдвиговых деформаций как самостоятельных типов. Подобные термины не отражают природу орогенических явлений. Например, термин «ороген растяжения» воспринимается так, как будто растяжение коры ведет к поднятию поверхности и горообразованию, но это физически невозможно. Или, как понять связь орогенеза со сдвиговыми деформациями?

При объяснении разнообразия типов напряжений внутри областей горообразования необходимо учитывать в первую очередь неравномерность поступления тепла к поверхности, что связано с неоднородностью мантии и коры, наличием плотностных аномалий, участков с разным тектоническим строением. Поэтому сжатие в отдельных зонах логично представить как результат компенсации растяжения литосферы в сопредельных областях более интенсивного прогревания и разуплотнения мантийного субстрата. На основе влияния неоднородностей и взаимодействия полей напряжений естественно объясняется и проявление сдвиговых деформаций.

Начальный орогенез развивается на фоне поднятия, сводово-глыбовых движений земной коры. Сводово-глыбовые структуры Тянь-Шаня возникли в условиях контрастных вертикальных движений [6, 15]. Глыбовая складчатость распространена на платформе Средней и Западной Европы, где дополняется сложными деформациями пластичных соленосных толщ осадочного чехла.

Для орогенных областей и континентальных рифтов характерны излияния щелочных базальтов, фолонитов, трахитов. В связи с деструкцией коры нередко наблюдается антидромная последовательность вулканических извержений: Средиземноморская область, Кавказ, Китайская платформа.

Орогенез сопровождается высокой сейсмичностью. Очаги землетрясений приурочены к активным разломам и пологим поверхностям срыва,

возникающим при тектоническом расслоении литосферы.

Сочетание отмеченных проявлений новейшей тектоники не исключение в истории Земли. Оно типично и для начальных стадий более древних тектонических эпох. Так, процессы стадии активизации предыдущего альпийского цикла развивались в поздней перми—триасе и оставили характерные следы в провинциях разных континентов: Западно-Сибирская плита — поднятие поверхности, рифтинг, наземные излияния базальтов, алеврито-глинистые лагунно-континентальные и прибрежно-морские отложения; Сибирская платформа — трапповый магматизм; Западное Верхоянье — горизонты базальтовых лав нижнего триаса; Урал — рифтинг, базальтовый вулканизм, лимнические толщи с пластами углей; Китайская платформа — раздробление коры, триасово-юрская активизация глыбовых движений; Средняя и Западная Европа — молассовый комплекс верхней перми—триаса, несогласно перекрывающий структуры среднего палеозоя; Аппалачи (Пьемонт) — красноцветная моласса триаса в грабенах, излияния базальтов; Африка — пермско-триасовый рифтинг вдоль западной и южной окраин континента, пространственно сопряженный с ареалами траппового магматизма близкого возраста на древних кратонах.

Сходными процессами отмечено и начало герцинского этапа: верхний древний красный песчаник (девонская моласса) основания герцинского структурного комплекса в Шотландии и Уэльсе, девонские красноцветные молассы (аналоги древнего красного песчаника) и вулканогенно-обломочные существенно континентальные формации в основании разрезов средне-верхнепалеозойских впадин на юге Сибири, в Монголии, Центральном Казахстане, Северном Тянь-Шане, Норвегии, Гренландии, на Шпицбергене и Северной Земле, накопленные в условиях поднятия, раздробления фундамента, развития глыбовых структур (Сарысу-Тенизский водораздел в Казахстане и др.).

В основании разрезов ряда зеленокаменных поясов архея и афебия выделяется базальный комплекс терригенных, нередко грубообломочных отложений, накопленных в субаэральных условиях [18, 25].

Все это — свидетельства циклической повторяемости сходных тектонических явлений в истории Земли.

Вторая стадия цикла, или стадия начального погружения, выражается в глубоком опускании земной коры, сопровождаемом накоплением сланцево-граувакковой формации, кремнистых образований, инициальным магматизмом. Земная кора дифференцированно прогибается в результате инверсии плотностей, нарушения гравитационного равновесия в системе астеносфера—литосфера (мантия—кора). Увеличение объема мантии при нагревании обуславливает сначала поднятие, растяжение коры, орогенез, рифтинг (стадия активизации), а когда вязкость субстрата достигает аномально низких значений, кора начинает в нем тонуть и быстро погружаться (стадия начального по-

гружения). Инверсия плотностей порождает астеносферный диапиризм. Опускание участков компенсируется усилением поднятия соседних блоков (контрастность движений). При нарастающем растяжении, деструкции коры в зонах раздвигов из мантии к поверхности поступают расплавы, образуются офиолитовые ассоциации.

Условия растяжения и быстрого опускания участков земной коры устанавливаются на примере развития молодых некомпенсированных впадин Средиземноморья, наложенных на структуры альпийского комплекса. Эти впадины с утоненной корой, нередко «лишенной» гранитогнейсового слоя, образовались в результате опускания за время до 5 млн. лет [1, 4] с амплитудой 2—3 км и более. Тепловой поток под ними сильно повышен до значений 100 мВт/м<sup>2</sup>.

В Средиземноморье наиболее раннее и глубокое погружение испытали срединные массивы [24]. Это логично объяснить слабой проницаемостью их перекристаллизованной консолидированной коры, под которой в первую очередь аккумулировалось глубинное тепло и значительно снижалась вязкость астеносферы, нарушая гравитационное равновесие. Опускание распространялось и на сопредельные складчатые зоны, где в обстановке растяжения возникли многочисленные мелкие грабены, заполненные неоген-четвертичными отложениями, известные на территории Атласа, Альп, Апеннин, Динарских гор, Балканского п-ова, Карпат, Малой Азии, Кавказа [23]. Абсолютное погружение крупных блоков происходит и в наши дни: вся территория Греции, большие участки Апеннинского п-ова и др.

Таким образом, неотектонические впадины на юге Европы формировались не в условиях особого «тафрогенного режима», выносимого за рамки цикла геосинклинального развития [4], а в геодинамической обстановке стадии начального погружения в новом постальпийском цикле.

Надвигание покровов на передовые прогибы в Восточных Карпатах, Альпах, Риф-Телльской зоне — следствие регионального растяжения коры подвижной области Средиземноморья в эпоху новейшей тектоники, после проявления главных фаз складкообразования.

Содержание последующих стадий контракции и инверсии подробно изложено в [25—27], что позволяет избежать повторов. Нужно лишь подчеркнуть, что контракция мантии под влиянием процессов дегазации, остывания, полиморфных превращений является одним из важнейших факторов развития движений и деформаций земной коры, который практически не учитывается в современных моделях тектогенеза. Без учета этого фактора невозможно удовлетворительно объяснить общее доинверсионное прогибание коры эвгеосинклинальных зон с амплитудой 15—20 км, зарождение складчатости в центральных частях подвижных областей, эклогитизацию нижней коры, для которой необходимы условия огромного давления  $\approx 2 \cdot 10^9$  Па [4]. Кора, сжимаясь, утрачивает проницаемость и экранирует остаточное тепло, с

чем связан переход к стадии инверсии. Развиваются метаморфизм, гранитизация с сопутствующими разуплотнением и горизонтальным растеканием материала коры. Максимум деформации пород в стадию инверсии объясняется различными динамическими обстановками в коре (разуплотнение) и мантийном субстрате (контракция).

Заключительная стадия цикла характеризуется воздыманием земной коры и орогенезом. Кора в процессе гранитизации разуплотняется и наращивается массой легких минералов (кварц, полевые шпаты). Ее мощность возрастает до 70 км в результате сжатия и увеличения объема в предыдущую стадию инверсии. Рост горных сооружений обусловлен изостатическим всплыванием блоков коры по мере динамической релаксации — снятия сжимающих усилий. Он сопровождается образованием расчлененного рельефа, накоплением моласс, субсеквентным вулканизмом.

Кора постепенно остывает, и процессы магматизма, метаморфизма, складкообразования затухают. Это противоречит мнению о связи эпигеосинклинального горообразования с новой фазой тепловой активизации мантии и астеносферным диапиризмом [4]. Трудно согласиться также с точкой зрения Н.И. Николаева [16] и В.В. Белоусова [4], отрицающих связь заключительного орогенеза с предшествующим геосинклинальным процессом. На самом деле горообразование — практически непрерывная терминальная стадия развития подвижных областей разных возрастов — от архея до новейших эпох фанерозоя [27, 28]. Есть основания усомниться в возможности объединения эпиплатформенного и эпигеосинклинального орогенезов в самостоятельный орогенный этап [4, 16]: эти типы орогенеза относятся к разным стадиям эндогенного цикла, геодинамические условия которых сильно отличаются [28].

В итоге выделим следующие положения.

1. Общие поднятия поверхности характерны как для начальной, так и конечной стадий эндогенных циклов, когда и проявляется орогенез. Механизмы начального и финального типов орогенеза различны. Начальный орогенез охватывает большие площади древних платформ, складчатых поясов разных возрастов, в том числе не завершивших становления. Он развивается в условиях нагревания, роста объема верхней мантии и растяжения коры. С начальным орогенезом ассоциируются процессы рифтинга, глыбовой тектоники, первые фазы инициального магматизма. Орогенез финальной стадии сосредоточен в подвижных поясах. Он проявляется вследствие изостатического поднятия коры по мере снятия напряжений сжатия на фоне снижения активности глубинных процессов.

2. Представления сторонников неомобилизма о коллизионной природе орогенезов юга Европы, Центральной Азии не отвечают реальной картине тектонических процессов. Данные геологии, геофизики, космической геодезии свидетельствуют о режиме доминирующего растяжения земной коры в неоген-антропогенную эпоху горообразования.

1. Артюшков Е.В. Физическая тектоника. М.: Наука, 1993. 456 с.
2. Барсуков В.А., Урусов В.С. Фазовые превращения в мантии и расширение Земли // Природа. 1983. № 5. С. 16–25.
3. Белоусов В.В. Эндеогенные режимы материков. М.: Недра, 1986. 232 с.
4. Белоусов В.В. Основы геотектоники. М.: Недра, 1989. 382 с.
5. Белоусов В.В. Тектоника плит и тектонические обобщения // Геотектоника. 1991. № 2. С. 3–12.
6. Гзовский М.В. Новейшая тектоника и геофизика Тянь-Шаня. Рига: Изд-во АН Латв. ССР, 1961. 173 с.
7. Кинг Ф. Геологическое строение Северной Америки. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 299 с.
8. Корчуганова Н.И. Неоген-четвертичная тектоника и геодинамические условия формирования орогенов востока Евразии. М.: Изд-во МГУ, 2000. 159 с.
9. Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной: история догм в науках о Земле. М.: Мир, 1991. 448 с.
10. Литосфера Центральной и Восточной Европы / Под ред. А.В. Чекунова. Киев: Наук. думка, 1993. 258 с.
11. Макаров В.И. Новейшие орогены, их структура и геодинамика. Дис. док-ра геол.-мин. наук. М.: ГИН РАН, 1990.
12. Милановский Е.Е. Неотектонический этап развития Земли: его временной диапазон и главные особенности неотектонических деформаций, морфогенеза, магматизма и геодинамики // Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов. М.: ГЕОС, 1996. С. 99–101.
13. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья. М.: Изд-во МГУ, 1996. 448 с.
14. Неоднородность тектоносферы и развитие земной коры. М.: Недра, 1986. 230 с.
15. Николас Н.И. Неотектоника и ее выражение в структуре и рельефе территории СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 392 с.
16. Новейшая тектоника Южной Азии. М.: Изд-во МГУ, 1984. 191 с.
17. Обручев В.А. Основные черты кинетики и пластики неотектоники // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1948. № 5. С. 13–24.
18. Океанизация Земли — альтернатива неомобилизма: Сб. научных статей. Калининград: Изд-во Калининского ун-та, 2004. 267 с.
19. Павленкова Н.И. Структура земной коры и верхней мантии и глобальная тектоника // Мат. сов. «Тектоника неогеня: общие и региональные аспекты». Т. 2. М.: ГЕОС., 2001. С. 94–97.
20. Прилепин М.Т., Гусева Т.В., Лукк А.А., Шевченко В.И. Современные геодезические измерения и основные геотектонические концепции // Мат. сов. «Тектоника неогеня: общие и региональные аспекты» Т.2. М.: ГЕОС. 2001. С. 135–138.
21. Резанов И.А. Эволюция представлений о земной коре. М.: Наука, 2002. 299 с.
22. Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. М.: Институт физики Земли РАН, 2002. 236 с.
23. Тектоника Европы (объяснительная записка к Международной тектонической карте Европы, м-б 1:2500000. М.: Наука, Недра, 1964. 364 с.
24. Тектоника Евразии (объяснительная записка к Тектонической карте Евразии, м-б 1:5000000). М.: Наука, 1966. 487 с.
25. Успенский Е.П. Тектоническая природа зеленокаменных поясов раннего докембрия // Изв. вузов. Геология и разведка. 2000. № 4. С. 3–13.
26. Успенский Е.П. Эндеогенные процессы и тектоника в раннем докембрии // Изв. вузов. Геология и разведка. 2001. № 1. С. 3–12.
27. Успенский Е.П. Развитие подвижных поясов и механизмы складкообразования // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2002. Т. 77. С. 3–13.
28. Успенский Е.П. Некоторые вопросы геотектоники и современные подходы к решению // Изв. вузов. Геология и разведка. 2003. № 2. С. 78–83.
29. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 512 с.
30. Хаин В.Е., Михайлов А.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1985. 326 с.
31. Хаин В.Е. Мегарельеф Земли и тектоника литосферных плит // Геоморфология. 1989. № 3. С. 3–14.
32. Цейслер В.М., Корчуганова Н.И. Современная тектоническая делимость земной коры Евразийского и Африканского континентов и некоторые аспекты геодинамики орогенных областей // Изв. вузов. Геология и разведка. 1997. № 5. С. 3–13.
33. Шульц С.С. Анализ новейшей тектоники и рельефа Тянь-Шаня. М.: ОГИЗ. Географиздат, 1948.

Российский государственный  
геологоразведочный университет  
Рецензент — В.С. Попов