
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
Ю. С. БИСКЭ
ГЕОЛОГИЯ
России
2-е издание

УДК 55(470+571)
ББК 26.3(2Рос)я73
Б65

Рецензенты: канд. геол.-минерал. наук *С. И. Стрельников*
(Всерос. научно-исслед. геол. ин-т);
д-р геол.-минерал. наук, проф. *А. К. Худолей* (С.-Петерб. гос. ун-т)

Рекомендовано к публикации учебно-методической комиссией
Института Наук о Земле
Санкт-Петербургского государственного университета

Бискэ Ю. С.

Б65 Геология России / Ю. С. Бискэ. — 2-е изд., испр. — СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2022. — 228 с.
ISBN 978-5-288-06277-3

Издание посвящено региональной геологии России. В нем дается толкование основных терминов, употребляемых в современном анализе общих геодинамических процессов и возникших в их результате объектов. Изложение материала построено в соответствии со степенью сложности: от чехлов древних платформ к синхронным им коллизионным поясам рифейского и фанерозойского возраста, а затем к мел-кайнозойским окраинам Евразии, где продолжается аккреция континентальной коры. Представлены основные породные комплексы, история их формирования и геологическая позиция главнейших минеральных ресурсов страны. Рассмотрены строение и динамика формирования раннедокембрийской земной коры в пределах России и образование современного Арктического океанского бассейна.

Предназначено для всех интересующихся геологией России. Издание может быть рекомендовано в качестве учебного пособия студентам бакалавриата, обучающимся по направлению «Геология», может быть полезно студентам, изучающим общие вопросы геологии и геодинамики.

УДК 55(470+571)
ББК 26.3(2Рос)я73

ISBN 978-5-288-06277-3

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2022
© Ю. С. Бискэ, 2019

Оглавление

Предисловие **5**

Введение. Основные понятия и закономерности **8**

Глава 1. Чехлы древних континентов (платформ) **17**

§ 1. Чехол Восточно-Европейской платформы (Русской плиты) 18

§ 2. Чехол Сибирской платформы 37

Глава 2. Коллизионные складчатые области позднего докембрия и палеозоя (Урало-Монгольский пояс) **49**

§ 3. Уральская складчатая область 49

§ 4. Тиманиды Европейского Севера 67

§ 5. Пайхой-Новоземельская складчатая область 69

§ 6. Таймырско-Североземельская область 74

§ 7. Енисей-Байкальская область 79

§ 8. Алтае-Саянские палеозоиды 93

§ 9. Фундаменты эпипалеозойских плит 103

Глава 3. Чехлы молодых платформ **107**

§ 10. Печорско-Баренцевоморская плита 108

§ 11. Западно-Сибирская плита 114

§ 12. Скифская плита 120

Глава 4. Аккреционно-коллизионные складчатые области мезозоя и кайнозоя. Тетический пояс **122**

§ 13. Крымско-Кавказская область 122

§ 14. Глубоководные моря Альпийского пояса 130

Глава 5. Аккреционно-коллизионные складчатые области фанерозоя. Тихоокеанский пояс 134

§ 15. Мезозоиды Северо-Востока России 134

§ 16. Палеозой-мезозойская Монголо-Охотская складчатая область Забайкалья и Приамурья 150

§ 17. Области мел-кайнозойской и современной аккреции на Тихоокеанской окраине 158

Глава 6. Континентальная кора раннего докембрия. Фундаменты древних платформ 178

§ 18. Балтийский щит 178

§ 19. Фундамент Русской платформы 195

§ 20. Фундамент Сибирской платформы 199

Глава 7. Арктический океанский бассейн 208

Вместо заключения 213

Список рекомендуемой литературы 214

Список использованной литературы 216

Предисловие

Главной целью настоящего издания является истолкование регионально-геологического материала — стратиграфии, вещественного состава отложений, магматизма и тектоники — с историко-геодинамических позиций. Решение такой задачи требует некоторых начальных представлений, которые содержатся главным образом в курсе геодинамики. Современная теория литосферы представляет развитие этой земной оболочки через образование и движение литосферных плит с включенными в них континентальными массами, через возникновение на границах плит островных дуг и активных окраин, а затем через коллизию континентов и последующие внутриконтинентальные события. На основе теории строится региональный геодинамический анализ, который ставит целью понять способ образования наблюдаемой структуры региона и разобраться, как получилось то, что мы видим. Это более чем непросто и не всегда полностью удается, однако именно такой анализ позволяет внести ясность в одних случаях и поставить нужные вопросы в других. Эти самые вопросы определяют дальнейшую работу, которая и предстоит внимательному читателю.

Эта книга не заменит вам ни лекционного курса, который обычно варьируется и из года в год обновляется, ни сделанного собственного конспекта. Более того, для усвоения хотя бы начальных представлений о региональной геологии столь обширной территории, как российская, вам придется обращаться к более полным описаниям, которые имеются в учебной и справочной литературе (см. список рекомендованной литературы), знакомиться с данными на геологических картах обзорного масштаба. В результате останется немало непонятного и неизвестного, однако состоится профессиональное знакомство будущего исследователя земных недр с геологией своей страны.

Изложение учебного материала в данной книге построено не вполне традиционно. В главе 1 мы рассмотрим наиболее простую часть отечественной региональной геологии — строение чехлов древнейших континентальных

масс российской территории. Именно Русская равнина, как область горизонтального чехла из слоев, покрывших кристаллический фундамент земной коры и запечатлевших длинную часть летописи геологических событий, была изучена и понята отечественными геологами уже в XIX веке, а закономерности ее строения в дальнейшем были использованы при исследовании Сибирской платформы.

В главе 2 речь пойдет о строении коллизионных областей, в которых происходит становление континентальной коры. Изложение начато с Уральского пояса, линейная структура которого и хорошо выдержанная по простиранию зональность позволяют восстановить общую картину коллизионных событий. Обширные территории коллизионного или аккреционно-коллизионного строения, составляющие периферию докембрийских континентов, являются предметом дальнейшего описания, которое показывает большие вариации в составе и истории образования новых блоков фундамента континентальной коры.

В главе 3 содержится информация о молодых платформах, которые образованы в конце докембрия и в фанерозое за счет погружения этих блоков и наслоения на них осадочного чехла, иногда с вулканитами (Западно-Сибирская и др.). Сейчас они находятся в начальных стадиях истории зрелой коры континентов.

Главы 4 и 5 представляют геологию аккреционных комплексов окраины Тихого океана и соответственно историю их становления начиная с конца мелового периода и до геологической современности, то есть до появления нынешней вулканической окраины континента и его краевых морей. Именно в этом регионе происходят активные, в том числе наглядные процессы, формирующие континентальную кору.

Глава 6 содержит, вероятно, самый трудный раздел региональной геологии страны, касающийся строения раннедокембрийских (древнее 1700 млн лет) континентальных фундаментов Восточной Европы и Сибири. Соответствующие описания в учебной литературе быстро устаревают, поскольку в последнее время благодаря успехам изотопного датирования геология древнего докембрия активно пересматривается. При этом, с одной стороны, подтверждается возможность понять эти области и динамику их формирования с тех же теоретических позиций, что успешно применены в более молодых регионах; с другой же — остается очевидной необходимость исторического, эволюционного, «анти-актуалистического» подхода, невозможного без допущений об иных, по сравнению с современными, физических условиях динамики земных масс.

Наконец, в главе 7 кратко показан процесс мел-кайнозойского развития Арктической окраины России, где, в частности, образуется современная океанская кора.

* * *

Автор выражает особую благодарность своим товарищам И. В. Сумаревой и М. В. Шитову, которые выполнили основную часть работы по подготовке иллюстративного материала в этой книге.

На обложке: Горный Алтай, вид на Северо-Чуйский хребет. На переднем плане серпентиниты Чуйской шовной зоны. (Фото автора)



Введение. Основные понятия и закономерности

Анализ геологической структуры в региональном масштабе требует использования системы терминов, которые относятся к области геотектоники и, в частности, геодинамики. Современный язык этих дисциплин в основном актуалистический, то есть основан на предполагаемой аналогии между геологическими процессами, некогда происходившими на Земле, и сегодняшней земной геодинамикой. Такая аналогия во многих случаях сначала лишь допускается, но затем, как правило, подтверждается результатами новых исследований. Например, горизонтальное движение земных материков друг относительно друга первоначально предполагалось на основе географических данных (дополнительность очертаний береговых линий), затем эта идея была подкреплена сведениями об истории древних климатов, растительного и животного мира материков, их геологического строения (складчатые пояса во фронтальных зонах движущихся континентов и т. п.). Теперь такое движение подтверждено прямыми точными измерениями расстояний между пунктами на разных континентах и согласуется с данными об истории океанического дна, полученными при изучении магнитных аномалий и строения осадочного слоя в океанах. В результате мы можем уверенно использовать термины, описывающие результаты перемещения больших участков литосферы (литосферных плит), такие как «спрединг», «субдукция», «активная окраина» и пр., когда речь идет о событиях геологического прошлого, в том числе и весьма отдаленного.

При этом неизбежно остаются нерешенные вопросы. Во-первых, далеко не все современные геологические процессы поддаются прямому изучению, так как заглянуть внутрь Земли на большие глубины можно в основном лишь косвенными (геофизическими) или умозрительными методами. Отсюда необходимость использовать путь, обратный актуалистическому: допускать, что поднятые из земных недр и представленные на наше обозрение геологические объекты (магматические интрузии, гнейсовые серии, их структуры и т. д.) показывают нам, что именно происходит на больших глубинах сейчас, и ждать, когда появится возможность это проверить, хотя бы путем физических экспериментов. Во-вторых, уже сейчас ясно, что геологические процессы глубокого

докембрия древнее 2 млрд лет могут просто не иметь современных аналогов из-за иного физического состояния планеты, прежде всего из-за высоких температур в недрах, а значит, не вполне поддаются актуалистическому объяснению.

При этих оговорках все же остается возможным и небезуспешным использование в регионально-геологических описаниях языка, основанного на общей теории (парадигме) «тектоники плит», но вобравшего в себя многие более традиционные геологические термины. Ниже представлено краткое истолкование некоторых основных понятий, которые будут часто употребляться в книге. Ее читателю рекомендуется обращаться не только к приведенным здесь толкованиям, но и к более подробным разъяснениям в учебной литературе по геотектонике и геодинамике. Частично приведены английские эквиваленты терминов. Предполагается, что терминология, связанная с описанием и классификацией геологических структур, горных пород, процессов их образования и способов определения их возраста, читателю в общем известна.

Океан, океаническая кора — это изостатически пониженное пространство, область тонкой (обычно 5–7 км) земной коры с океаническим типом строения: сверху вниз тонкий осадочный слой, состоящий из глубоководных (батиальных) осадков; базальты типа абиссальных низкощелочных толеитов, образованных излияниями в срединно-океанических хребтах (базальты СОХ, или MORB в английской аббревиатуре); долеритовые дайки, габбро и гипербазиты лерцолит-гарцбургитового состава. Океанская кора образуется путем спрединга (spreading) в СОХ или в задуговых краевых бассейнах. Океан в геологическом употреблении термина — не обязательно широкое, хотя все же глубокое водное пространство. Можно назвать океаном древний, ныне исчезнувший бассейн типа современного Красного или Тирренского моря, хотя более подходящее выражение для общего случая — «бассейн океанического типа».

Континент — это область с мощной земной корой (30–70 км), которую образуют фундамент, состоящий из сложно смятых осадочных, метаморфических и магматических пород различного состава, и чехол осадочного состава, полого или горизонтально залегающий. Чехол может отсутствовать, но обязательно присутствие в фундаменте верхнего гранито-гнейсового этажа (в обратном случае тип строения считается океаническим, даже если речь идет о суше, пример — Прикаспийская впадина). Наоборот, мелководные моря, как правило, имеют континентальный тип строения земной коры и в геологическом смысле входят в состав континентов. Термин «материк» понимается иногда как синоним континента, хотя все же чаще употребляется в географическом значении земной суши.

Микроконтинент (microcontinent) — уже чисто геологический термин: фрагмент континентальной коры, отделенный со всех сторон областью с океанской корой. Вероятно, максимальным по размеру современным микроконт-

тинентом можно считать остров Мадагаскар. В современных океанах микроконтиненты обычно находятся недалеко от берегов, отделяясь от больших континентов океаническими зонами (проливами), спрединг которых прекратился. По этим признакам можно установить древние микроконтиненты внутри складчатых поясов (см. главы 2, 4–6).

Офиолиты (ophiolites), *офиолитовые комплексы* — понятие первоначально эмпирическое, означавшее ассоциацию ультрабазитов, габбро и базальтов, каковая часто наблюдается во внутренних зонах складчатых орогенов альпийского типа. Связь офиолитов с осадочными породами глубоководного происхождения и особенно их сходство с породами, образующими современную кору, наблюдаемую в срединных хребтах океанов, в трансформных эскарпах и в пока еще редких глубоководных скважинах, позволила истолковать офиолитовые ассоциации как остатки, сохранившиеся внутри уже континентальной коры после субдукции океанской литосферы и/или коллизии континентов. В последнем случае говорят об океанических сутурах (suture), или швах, шовных зонах. Частично офиолиты сохраняются в виде офиолитовых аллохтонов поверх континентальной коры, возникших в результате обдукции на континентальную окраину.

Пассивная континентальная окраина (passive continental margin), *окраина атлантического типа* — край континента, длительное геологическое время развивающийся без существенных проявлений магматизма и тектонических деформаций сжатия на фоне общего преобладающего погружения и заполнения возникающего пространства осадочными породами. Имеет четко выраженные шельф, континентальный склон и подножие, хотя границы этих зон со временем могут смещаться в сторону океана за счет выноса осадочного материала с суши. Пассивная окраина образуется в результате раскола континента (рифтинга), появления и последующего разрастания океана в ходе дивергенции (расхождения) литосферных плит. В дальнейшем, после коллизии, обычно образует внешнюю, прилегающую к континенту (платформе) зону складчатого орогена.

Активная континентальная окраина (active continental margin) (рис. 1) образуется в ходе конвергенции, то есть встречного движения литосферных плит, что может сопровождаться тектонической аккрецией или, наоборот, тектонической эрозией. Активные окраины геологического прошлого реконструируются по признакам, ныне свойственным большей части окраин Тихого океана. Прежде всего это интенсивный магматизм, разнообразный по составу продуктов, с преобладанием известково-щелочных вулканических (базальты, андезиты, дациты и особенно туфы тех же составов) и интрузивных серий; глубоководный желоб с турбидитовым типом седиментации, дислокации осадков в составе аккреционной призмы, возникающей в результате субдукции (subduction) океанской литосферы и формирования зоны глубокофокусных землетрясений. Окраинные моря могут возникать за островными

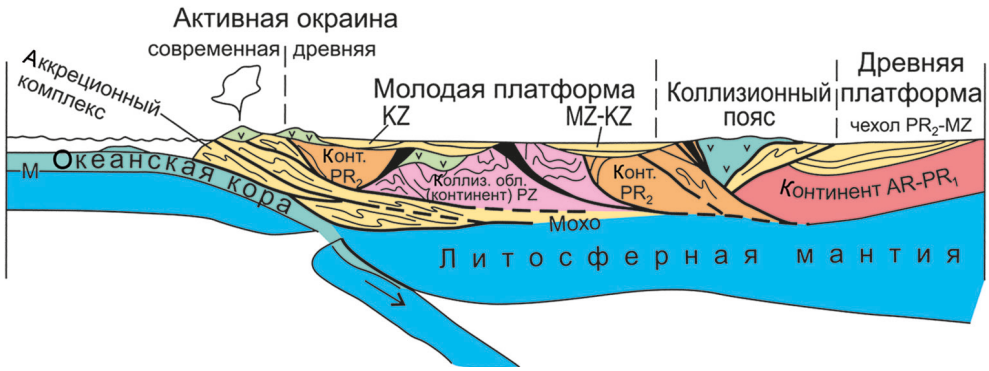

Рис. 1. Модельная схема строения литосферы и земной коры в области, включающей океан, активную окраину и континент

дугами (Курилы, Японские острова) или отсутствовать (Анды). В последнем случае место островной дуги занимает высокий хребет с вулканическими конусами, магматизм смещается в сторону более кислых составов и типичны обширные гранитные батолиты.

Островная дуга (island arc) — термин географический по общему смыслу, применяемый к дугообразной цепочке островов с вулканами на границе между океаном и краевым (задуговым) морем; возможны и системы из ряда субпараллельных островных дуг, как в Филиппинском море. Обязательный геологический признак островных дуг — вулканические серии непрерывно-дифференцированного по содержанию SiO_2 типа, в которых максимальное количество чаще всего приходится на андезиты. Преобладают известково-щелочные (плагиоклазовые) серии, встречаются также толеитовые и щелочные (латитовые). Различают энсиматические, или незрелые (immature, ocean arcs) дуги, образованные на океанической коре, и энсиалические, или зрелые (mature, continental arcs) дуги, в которых вулканические толщи подстилаются корой континентального строения. Специфичными для энсиматических дуг являются бонинитовые (высокомагнезиальные) вулканиты, а энсиалические дуги и краевые вулканические пояса на континентах обычно показывают переход от известково-щелочных к щелочным породам по направлению от океана. Прекратившие развитие островные дуги могут быть включены в состав дислоцированных аккреционных комплексов на активных окраинах континентах и затем в аккреционных либо коллизионных орогенах (см. главы 2, 4, 5). В составе последних древние островные дуги находятся во внутренних зонах.

Ороген, орогенный пояс (orogenic belt) — система деформаций и обычно горная область, возникшая в результате конвергенции литосферных плит. По истории и месту образования можно различать орогены аккреционные, коллизионные и внутриплитные.

Аккреционные (accretional) *орогены* — складчато-надвиговые системы, образованные без закрытия океана на его активной окраине в обстановке субдукции океанской литосферы под континент. Аккреционные орогены располагаются между океаном и ранним краевым магматическим поясом активной окраины. Пример: Корякско-Камчатский мел-кайнозойский ороген на Тихоокеанском побережье. Ранний краевой пояс наложен на континент; в дальнейшем параллельно ему и ближе к океану образуются более поздние магматические пояса, которые надстраивают уже аккреционные комплексы. Последние состоят из фрагментов океанского происхождения: это офиолиты, покрывавшие их осадочные породы первого океанского слоя, турбидиты глубоководного желоба и окраинных морей, а также внутриокеанские вулканы и вулканические плато, отмершие островные дуги. В целом изверженные породы если не преобладают, то представлены широко, однако гранитоидов мало. Часть аккреционного комплекса может быть метаморфизована при высоких давлениях и сохранении низких температур за счет вовлечения в субдукцию и последующего быстрого извлечения и надвигания. Вергентность структуры (направление движения масс) отражает в основном направление субдукции, то есть надвиги направлены и складки опрокинуты в сторону океана.

Коллизионные (collisional) *орогены* (см. рис. 1) — результат соединения, коллизии двух или более континентов с исчезновением (закрытием) океана. Примером может служить палеозойский Урал или кайнозойский Гималайский пояс. В зависимости от характера коллизии образуются различные типы коллизионных сооружений.

Достаточно широкие океаны с длительной историей субдукции на их окраинах обычно оставляют после себя резко асимметричные коллизионные орогены. При коллизии один из континентов, сохранивший до коллизии пассивную окраину, частично поддвигается под другой, его окраина деформируется со срывом осадочного чехла, смятием и надвиганием его внутрь континента. Так образуется внешняя зона орогена, а перед фронтом надвигов на континенте и за счет их нагрузки — передовой прогиб (foredeep), заполняемый морскими и далее континентальными осадками. В конечном итоге он представляет собой линейное асимметричное складчатое сооружение (синклинорий). Другая сторона внешней зоны орогена граничит с внутренней зоной, которая представляет собой бывшую островную дугу, сочленение дуг и в целом аккреционный комплекс активной окраины второго континента. На границе внешней и внутренней зон часто выражена офиолитовая сутура, которую и считают швом на месте исчезнувшего океана. Во многих случаях это надвиг или даже покров офиолитов на осадочных породах бывшего шельфа. Структура внутренней зоны при коллизии может быть сильно перестроена и чаще оказывается антивергентной, с расходящимися направлениями надвигов. Нередко в составе внутренней области орогена сохраняются бывшие микроконтиненты, которые становятся срединными массивами (median masses). Такие

массивы иногда очень невелики по размерам и могут быть представлены лишь тонкими пластинами явно континентальных пород (гранитогнейсов и пр.). Их можно выявить по присутствию доорогенной континентальной коры с осадочным или вулканическим чехлом. Здесь же на заключительном этапе деформаций могут возникать тыловые прогибы, осадки и вулканиты, в которых залегают несогласно и сами обычно мало деформированы. Кроме того, внутренняя область коллизионного орогена в большей мере, чем внешняя, испытывает внедрение больших масс коллизионных гранитоидов, иногда разнообразных по составу (см. главу 2).

Другой тип коллизионных орогенов образуется при закрытии относительно небольших по ширине океанов, вследствие чего внутренняя часть таких орогенов оказывается узкой, обычно не содержит остатков островодужных построек и краевых магматических образований, то есть может быть выражена лишь офиолитовым швом или швами. При этом обычно происходит сильное скучивание горных масс бывших континентальных окраин и микроконтинентов, что выражено нагромождением тектонических покровов и, как следствие, общим утолщением континентальной коры и высокотемпературным (гранулитовым) метаморфизмом в ее нижнем этаже. Строение таких орогенов выглядит более симметричным, чем в аккреционном типе, хотя надвиговый пояс с одной стороны орогена может быть представительней, чем с другой. Примеры можно привести из Альпийского пояса южной Европы.

Наконец, известны случаи закрытия океанов с субдукцией океанской литосферы в обе стороны. Образующийся в таких условиях ороген состоит преимущественно из вулканических пород бывших активных окраин континентов и островных дуг, между ними размещаются смятые осадочные толщи аккреционных комплексов и офиолиты. Структура синвергентная, то есть надвиги направлены навстречу друг другу, хотя обычно асимметричная. Подобное строение имеет Иртыш-Зайсанский и Джунгарский орогены, образованные в карбоне при закрытии Палео-Азиатского океана.

Внутриплитные (intraplate, intracontinental) *орогены* — системы деформаций, возникающие внутри континентальных областей, если эти области подвергаются общему сжатию на фоне коллизии и закрытия достаточно удаленного океана. Так, после исчезновения океана Тетис к концу палеогена начался орогенез на обширной территории Центральной Азии вплоть до Тянь-Шаня и Алтая. Всю эту территорию можно бы считать внешней областью кайнозойского коллизионного орогена, однако она распадается на отдельные поднятия — хребты, разделенные стабильными участками понижений. Хребты подобного типа, испытывая горизонтальное сжатие и сокращение поверхности, также приобретают надвиговое строение. В них хорошо обособляется древний складчатый фундамент, например палеозойский в Тянь-Шане, и чехол, сложенный осадочными породами платформенной стадии. Разумеется, молодых офиолитов и других признаков «новых» океанов в этом случае

нет, обычно нет и гранитов, однако возникают и заполняются континентальными осадками глубокие прогибы. Внутриплитные орогены называют также возрожденными, вторичными или дейтероорогенами.

Все орогены так или иначе появляются в результате сокращения пространства земной коры и литосферы в поперечном к простиранию орогена направлении. В случае неравномерности такого сокращения возникают ороклины, которые выражаются через изгибы простираний орогена. Не всегда эти изгибы вторичны, иногда они наследуют первичную криволинейность или сопряжение разных направлений раскола древней окраины континента. Характерные черты коллизионного орогена — непрерывная линейная складчатость, продольные чешуйчатые надвиги и нередко большие сдвиги, утолщение земной коры (при вероятном отслоении литосферы на глубине), гранитоидный магматизм, синхронное с деформациями образование на периферии и реже внутри орогена прогибов, соответственно передовых и тыловых.

Коллизионные гранитоиды — интрузивные породы, образованные в складчатых поясах в ходе коллизии или вслед за ее завершением. Преобладают среди них породы плагиогранит-диоритового ряда, или I-гранитоиды (биотит-роговообманковые), которые считаются происходящими за счет выплавления из мантии, а затем взаимодействия полученного расплава с корой и разделения его на фракции. Как следствие, I-гранитоиды имеют невысокий стронциевый индекс (0,703–0,712) и низкие, иногда положительные (мантийные) значения ϵNd_t — показателя отношения изотопов неодима, пересчитанного на возраст породы (в целом понижается при переходе от океанских пород к континентальным). S-гранитоиды менее распространены, но в некоторых орогенах, таких как Гималаи, Туркестанский хребет, типичны. Преимущественно это лейкократовые двуслюдяные граниты или же граносиениты с жилами аплитов и пегматитов, образованные при плавлении высокоглиноземистых осадочных (глинистых) пород после коллизионного погружения верхнего слоя континентальной коры. Соответственно, они отличаются высоким отношением изотопов Sr (иногда до 0,740) и сильно отрицательным ϵNd_t (от –12 до –25). Реже встречаются A-гранитоиды, более типичные для внутриплитных магматических проявлений (A — anorogenous, анорогенные), однако и в орогенах они возможны на постколлизионной стадии. Здесь это граносиениты, сиениты, габбро-сиениты и другие высокощелочные породы вплоть до нефелиновых сиенитов. Их материнские расплавы образованы из корового материала в связи с мантийными, но сильно обогащенными некогерентными к мантии элементами.

Платформа (platform; в англоязычной литературе чаще употребляется термин continent) — обширный, обычно более 1 млн км^2, массив континентальной коры, в составе которого имеется полого залегающий осадочный чехол, в некоторых случаях с покровными (трапповыми) базальтами. Сам чехол и/или площадь его распространения называют плитой, что не вполне

удачно из-за гомонимии с литосферной плитой, но термин этот в применении к континенту является в данном случае старшим и традиционным. Принято различать древние платформы, имеющие фундамент из кристаллических (метаморфических) пород нижнего докембрия, и молодые платформы, возникшие уже на фанерозойском складчатом основании, в основном слабо измененном. Платформы со складчатым верхним протерозоем в фундаменте, например Аравийская или Печорско-Баренцевоморская, занимают промежуточное положение.

Пологие поднятия на платформах (антеклизы) могут быть частично лишены чехла и определяются в этом случае как щиты (shield), а при относительно небольшой площади — как массивы или выступы (фундамента). Наоборот, районы прогибов поверхности фундамента и мощного чехла образуют синеклизы, или бассейны (basin).

Рифт (rift) — протяженная линейная впадина, ограниченная сбросами. В океанах рифты образуются вдоль осей некоторых срединных хребтов при медленном спрединге. Континентальные рифты имеют сходный механизм образования — растяжение на фоне обширного поднятия поверхности, а при дальнейшем развитии процесса могут быть преобразованы в океаны либо, в случае отмирания и заполнения осадочной толщей, в авлакогены (палеорифты). Синонимом термина «рифт» является немецкое по происхождению слово «грабен», вошедшее в русскую литературу несколько раньше, но теперь почти вытесненное. В результате возобновления сжатия в коре платформы на месте авлакогена может возникнуть вал — инверсированная, то есть выпуклая на поверхности, линейная или брахиформная пологая складка.

Геологические объекты и их типы, распространенные в областях континентальной коры раннего докембрия (см. главу 6), приходится описывать в иных, специфических терминах, отражающих главным образом их вещественный состав и морфологию, так как их происхождение спорно и актуалистические аналогии сомнительны.

Гранитно-зеленокаменные области — части фундамента древних континентов, которые ближе всего по типу строения к современным континентам (платформам), поскольку состоят из собственного фундамента и резко несогласно залегающего, менее метаморфизованного чехла. Употребляемые названия этих областей — массивы, блоки, домены, провинции. Чехол таких массивов, например нижний протерозой Карельского массива на Балтийском щите, в сравнении с чехлами молодых платформ заметно метаморфизован, чаще включает изверженные породы и более нарушен складками и разрывами. В составе фундамента таких массивов основной объем верхней коры приходится на серые гнейсы. Этот несколько условный термин подразумевает полосчатые кристаллические породы в основном амфибол- или пироксен-плагиоклазового состава с участием амфиболитов, образованным в результате метаморфизма низкокалиевой тоналит-трондьемит-гранодиоритовой (ТТГ)

магматической серии. Известково-щелочной состав серых гнейсов позволяет думать, что ТТГ-серии возникли путем аккреции древнейших островных дуг, а их источником был материал коры, близкой к океанскому типу. Есть и другие модели образования. Кроме того, типичны замещенные микроклиновые гнейсы, гранитогнейсы, граниты, а также комплексы зеленокаменных поясов.

Зеленокаменные пояса (greenstone belts), занимающие относительно небольшую часть гранитно-зеленокаменных областей, — это узкие линейные структуры, чаще всего фрагменты синклиналей (синформ), по размеру в среднем на порядок меньше, чем фанерозойские орогены. Зеленокаменные пояса образованы излияниями ультраосновных (коматииты) и основных (базальтовых) магм, могут содержать также андезит-дациты, а в верхней части разреза — осадочные породы, включая кварциты и сланцы. Зеленокаменные пояса можно истолковать как рифты, возникшие при расколе древней серогнейсовой коры. Однако обычно внутри зеленокаменных поясов выявляется чешуйчато-надвиговая структура, а возраст вулканитов близок к датировкам окружающих гнейсов. В таком случае уместнее говорить о зеленокаменных поясах как об остатках прото-океанской коры коматиит-базитового состава. Она могла сохраниться среди близких к ней по возрасту фрагментов островных дуг (в дальнейшем это серые гнейсы), если представить себе, что вся структура была затем сильно преобразована сжатием и метаморфизмом пород. Зеленокаменные пояса имеют обычно позднеархейский возраст, в Южной Африке и других регионах известны также раннеархейские пояса, но к этой же категории относят и некоторые структуры раннепротерозойской коры.

Гнейсо-гранулитовые области — основной элемент строения раннедокембрийской коры наряду с гранит-зеленокаменными областями. Они состоят из пород различного происхождения, измененных при наиболее высоких температурах (до 900–950°), когда кислые и средние породы все же не полностью плавятся благодаря давлениям, достигающим 16–18 кбар. Обычно гнейсо-гранулитовые фации метаморфизма свойственны широким и протяженным поясам, которые можно представить как конвергентные по происхождению (коллизионные) сооружения, образованные на больших глубинах земной коры в результате ее утолщения поддвигом серии тектонических пластин. Гнейсо-гранулитовые области (пояса) могут быть позднеархейскими и раннепротерозойскими по возрасту. Большая их протяженность указывает на коллизионное сближение уже обширных континентов, а значительная ширина — на сильную переработку коры этих континентов гранулитовым метаморфизмом и тектоническим расслоением. Среди гранулитовых пород могут присутствовать контрастные вулканиты, возможно, рифтового происхождения, или ультрабазит-базитовые ассоциации (зеленокаменных поясов, возможно, палео-океанические), что указывает на раскол континентов, предшествовавший коллизии.

Глава 1

ЧЕХЛЫ ДРЕВНИХ КОНТИНЕНТОВ (ПЛАТФОРМ)

Континентальные массы, образованные в раннем докембрии, обычно имеют почти горизонтально залегающий верхний этаж структуры, то есть платформенный чехол, который состоит в этом случае из верхнепротерозойских и фанерозойских, в основном осадочных пород. Нижний этаж, или фундамент, сложен кристаллическими породами архея — нижнего протерозоя (карелий в отечественной шкале), почти везде метаморфическими и интрузивными. Таким образом, угловое несогласие между фундаментом и чехлом имеет не только структурное, но и вещественное выражение. Это связано с длительной историей поднятий и денудации фундамента после формирования его мощной (чаще около 35–40 км) континентальной коры, в ходе которого верхняя, менее метаморфизованная его часть была удалена.

Переход от тектонических поднятий к стабильному состоянию и частичным погружениям связан в общем с охлаждением как коры континента, так и подстилающей мантии и приводит к появлению осадочного чехла. При этом отложение осадков выше уровня Мирового океана, то есть континентальных осадков, неустойчиво и легко прерывается их размывом. Для формирования устойчивого, надолго сохраняющегося слоя осадочных пород требуется «пространство аккомодации», которое образуется после погружения выровненной поверхности фундамента ниже гипсометрического нуля, так что денудация сменяется переносом, разравниванием осадков по морскому мелководному шельфу, а при погружении до –200 м и глубже почти прекращается. Осадки здесь уже исключительно морские.

Значительные области древних, в том числе и раннедокембрийских, континентов в дальнейшем могут быть преобразованы в активные окраины, о чем свидетельствует магматизм этих зон, или, чаще, в коллизионный процесс (столкновение континентов), что отражается складчато-надвиговыми деформациями, затрагивающими как чехол, так и фундамент. Например, складчатый пояс всего западного Урала образован за счет докембрийской коры на краю Восточно-Европейского континента и осадочных толщ ее палеозойского чехла. Возможен и распад древних континентов с образованием между ними океанов.

Вот почему понятия «континент» и «платформа» в геологическом языке не совпадают: то, что сейчас является фундаментом древней платформы, — обычно лишь остаток первоначального континента.

В пределах России различают две большие раннедокембрийские массы (платформы) — Восточно-Европейскую (синоним — Русская) и Сибирскую. Мы начнем со строения их чехлов, так как разобраться в трудной для понимания структуре древних фундаментов будет легче после знакомства с закономерностями образования более молодых складчатых поясов.

§ 1. Чехол Восточно-Европейской платформы (Русской плиты)

Восточно-Европейская, или Русская, платформа включает древний (более 1650 млн лет), дорифейский (карельский) складчатый кристаллический фундамент, который выступает на северо-западе (Балтийский щит) и юго-западе (Украинский щит) платформы. На остальной большей по размерам площади, выделяемой под названием собственно Русской плиты, фундамент покрыт почти горизонтальным чехлом рифей-фанерозойских осадочных отложений.

Границы плиты и их возраст (рис. 2, 3). Балтийский щит в состав плиты не входит и будет рассмотрен отдельно. В геологическом прошлом территория щита также была покрыта по крайней мере нижнепалеозойскими породами, обломки которых можно найти в четвертичных ледниковых отложениях. С северо-запада она резко ограничена складчато-надвиговым сооружением Скандинавских каледонид, которые были надвинуты на Восточную Европу в силуре.

На севере Русская плита залита сейчас Белым и частично Баренцевым морями, южнее последнего уже за ее пределами остаются север Канина полуострова и Тиманский кряж. Эти районы имеют более молодой (конец протерозоя) складчатый фундамент, который на картах виден по отдельным выступам докембрия, хотя в фанерозое, по крайней мере с ордовика-силура, на нем образуется осадочный чехол почти такой же, как и на Русской плите. Фактически за Тиманом в палеозое продолжался тот же Восточно-Европейский континент. Собственно восточная его граница — Предуральский передовой прогиб, возникший в перми на краю этого континента. На юго-востоке в Русскую плиту традиционно включают Прикаспийскую синеклизу — необычайно глубокую впадину, которая лишь частично скрывает край самой этой плиты, а в другой части не имеет вообще континентального фундамента или подстилается его фрагментами, отделившимися в палеозое. На южном краю Русская плита граничит со складчатым палеозоем фундамента Крымского полуострова и Предкавказья. С юго-запада на нее надвинуты мел-кайнозойские флишевые толщи Карпат: перед надвигами образован и позже частично смят неогеновый Предкарпатский прогиб. Наконец, в западной части (Польша, Германия, Дания) гра-

ница плиты снова перекрыта мезозой-кайнозойскими толщами, под которыми представлена шовной линией Торнквиста. Скорее всего, это сдвиг, прошедший в конце палеозоя примерно вдоль прежней окраины континента.

Этапность образования чехла Русской плиты. Этот вопрос решается через выделение, в пределах чехла, основных стратиграфических комплексов (структурных ярусов), разделенных длительными перерывами и занимающих, как правило, каждый особое географическое положение. Понятно, что угловые несогласия между ними могут быть лишь локальными и слабо выраженными. Для Русской плиты такие ярусы охватывают:

1) рифей и нижний венд;
2) верхний венд и кембрий — нижний девон;
3) остальной палеозой и нижний триас;
4) мезозой, чаще начиная с юры, и кайнозой.

Отметим, что четвертичные континентальные отложения, несмотря на отчетливое несогласие в их подошве, из этого рассмотрения исключаются, так как в данном масштабе рассмотрения слишком недолговечны.

Первый структурный ярус составляет особый, авлакогенный комплекс, остальные вместе образуют собственно плитный комплекс. Здесь и далее мы будем рассматривать фактический материал по стратиграфии, вещественному составу и строению (тектонике) плиты в хронологическом порядке, хотя такое изложение не может быть строго последовательным и потребует, кроме прочего, объяснительных комментариев, которые в курсах региональной геологии обычно не приводятся. Читателю в ряде случаев будет недоставать как фактов, так и объяснений. Остается рекомендовать обращение в одних случаях к традиционным учебникам по геологии России (СССР) и справочной литературе, в других — к курсам геотектоники или более специальных дисциплин.

Авлакогенный комплекс (рис. 4). Его особенностью является приуроченность отложений к сравнительно узким, линейным впадинам в основании чехла. Авлакогенами, вслед за Н. С. Шатским, в русской литературе называют именно такие древние провалы, возникшие в фундаменте платформ и захороненные осадками. Сейчас признано, что они представляли собой подобие современных Байкальской или, например, Рейнской впадин, то есть являются фактически палеорифтами. На это указывают особенности как осадочных формаций авлакогенов (преобладание обломочных толщ, включая озерные и прочие континентальные осадки, присутствие эвапоритов), так и специфический внутриконтинентальный магматизм. В разном объеме здесь представлены контрастные по кремнекислотности вулканиты и интрузии, чаще это щелочные или субщелочные базальты, реже трахиты и кислые породы, тогда как настоящие андезиты не встречаются. Именно поэтому в современной, особенно зарубежной, литературе чаще употребляется актуалистический термин «палеорифт».

Судя по имеющимся датировкам, авлакогены, или палеорифты, образовались в течение позднего докембрия по крайней мере в три этапа, что не удивительно,

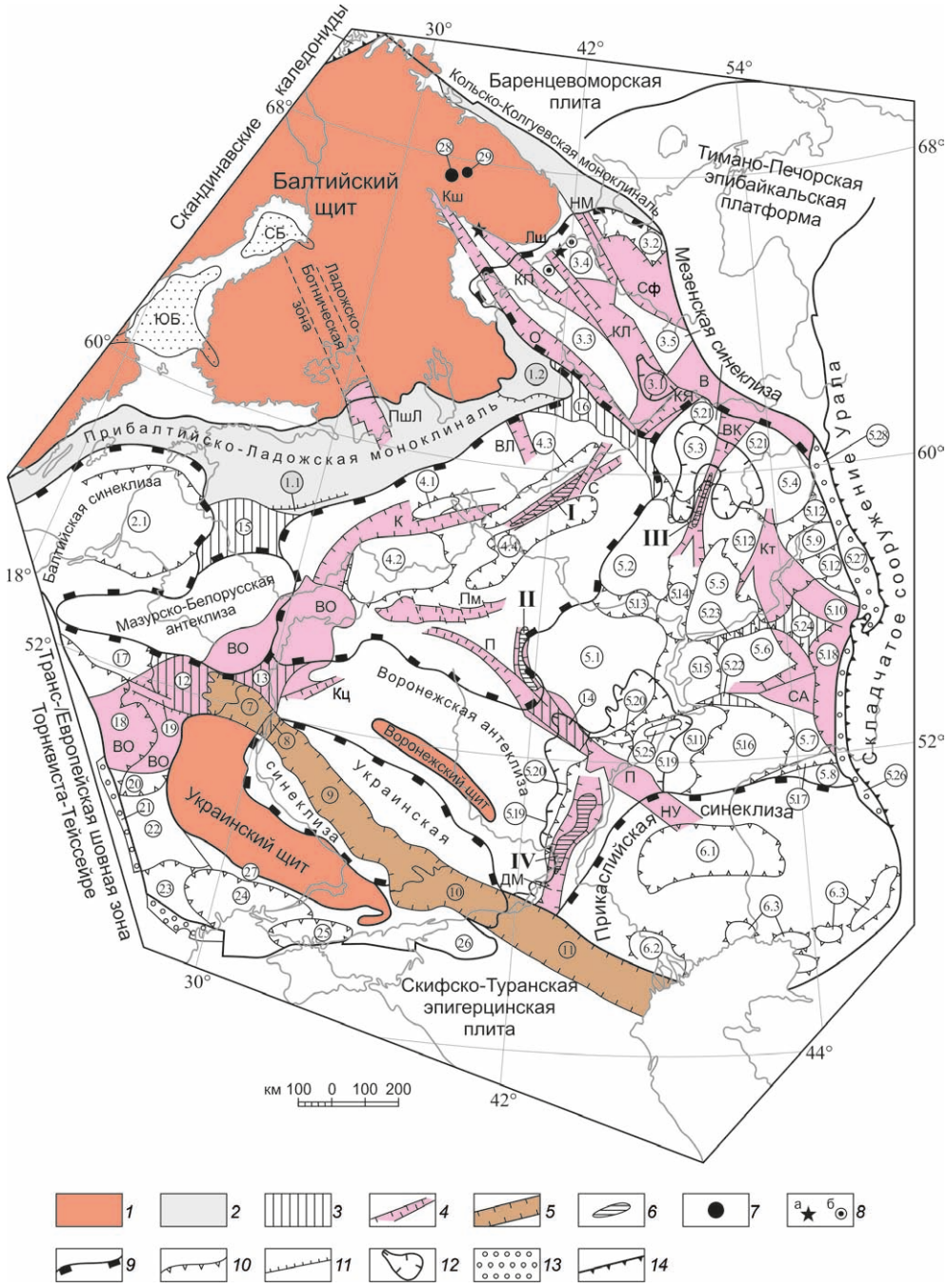

Рис. 2. Схема тектонического районирования Восточно-Европейской (Русской) платформы, по [Геология и полезные ископаемые России. Т. 1, ч. 1, 2006].

учитывая огромную длительность этого интервала времени. Удивительно и требует объяснения другое — почему в рифее на Восточно-Европейской платформе почти не сохранилось, кроме заполнения авлакогенов, также осадочных формаций иных типов, отложенных вне рифтовых впадин. Мы увидим, что они есть, но действительно их мало. Причину следует искать, скорее всего, в том, что образованию рифтов обычно предшествуют значительные по площади и амплитуде поднятия, вызванные прогревом мантии и коры, как это и наблюдается сейчас

---

1 — щиты; *2* — моноклинали; *3* — седловины; *4* — авлакогены и впадины рифейские; *5* — рифты палеозойские (Припятско-Доно-Мангышлакская система); *6* — инверсионные структуры; *7* — девонские массивы щелочно-ультраосновных пород; *8* — девонские трубки взрыва: а — кимберлитов и мелилититов, б — толеитовых базальтов; *9* — границы синеклиз и антеклиз; *10* — границы впадин, прогибов и сводов; *11* — границы выступов, валов; *12* — границы мезо-кайнозойских наложенных прогибов; *13* — границы краевых прогибов складчатого обрамления платформы; *14* — надвиги.

Авлакогены рифейские: ВК — Вятско-Кажимский (Кировский); ВЛ — Воже-Лачский; ДМ — Доно-Медведицкий; К — Крестецкий (Валдайский); КЛ — Керецко-Лешуконский; Кт — Калтасинский (Камско-Бельский); КП — Керецко-Пинежский; Кц — Клинцовский; Кш — Кандалакшинский; КЯ — Котлас-Яренский; Лш — Лешуконский; НМ — Нижнемезенский; НУ — Ново-Узенский; О — Онежский; П — Пачелмский (Рязано-Саратовский); Пм — Подмосковный (Московский или Павлово-Посадский); ПшЛ — Пашско-Ладожский; С — Солигаличский и Рослятинский; СА — Сергиевско-Абдулинский.

Впадины и прогибы рифейские: СБ — Северо-Ботническая; ЮБ — Южно-Ботническая; ВО — Волыно-Оршанская; В — Вычегодский; Сф — Сафоновский.

Инверсионные структуры (мегавалы): I — Рыбинско-Сухонский; II — Окско-Цнинский; III — Вятский; IV — Доно-Медведицкий.

Прибалтийско-Ладожская моноклиналь: 1.1 — Валмиерско-Локновское поднятие; 1.2 — выступ Ветреного Пояса.

Балтийская синеклиза: 2.1 — Литовско-Латвийская впадина.

Мезенская синеклиза: 3.1 — Вашкинская впадина; 3.2 — Пёшская впадина; 3.3 — Архангельский выступ; 3.4 — Кулойский выступ; 3.5 — Вашкинский выступ.

Московская синеклиза: 4.1 — Пестовский выступ; 4.2 — Нелидово-Торжковский выступ; 4.3 — Грязовецко-Тарногский прогиб; 4.4 — Ярославско-Галичский прогиб.

Волго-Уральская антеклиза. Своды: 5.1 — Токмовский; 5.2 — Котельнический; 5.3 — Сыктывкарский; 5.4 — Коми-Пермяцкий; 5.5 — Северо-Татарский; 5.6 — Южно-Татарский; 5.7 — Оренбургский; 5.8 — Соль-Илецкий; 5.9 — Пермский; 5.10 — Башкирский; 5.11 — Жигулевско-Пугачевский. Впадины и прогибы: 5.12 — Верхнекамская; 5.13 — Ветлужская; 5.14 — Казанско-Кажимский; 5.15 — Мелекесская; 5.16 — Бузулукская; 5.17 — Оренбургский грабен; 5.18 — Салмышская; 5.19 — Ульяновско-Саратовский; 5.20 — Нижневолжский; 5.21 — Вятско-Камская. Седловины: 5.22 — Сокская; 5.23 — Сарайлинская; 5.24 — Бирская. 5.25 — Жигулевский вал.

Предуральский краевой прогиб (впадины): 5.26 — Бельская; 5.27 — Юрюзано-Сылвенская; 5.28 — Соликамская.

Прикаспийская синеклиза: 6.1 — Центрально-Прикаспийский прогиб; 6.2 — Астраханский свод; 6.3 — Актюбинско-Астраханская зона поднятий.

Припятско-Доно-Мангышлакская палеозойская рифтовая система: 7 — Припятский грабен (впадина); 8 — Брагинский выступ (седловина); 9 — Днепровский грабен (Днепровско-Донецкий авлакоген); 10 — складчатое сооружение Донбасса; 11 — Доно-Мангышлакская складчатая система (относится уже к Скифско-Туранской эпигерцинской платформе).

Крупнейшие седловины: 12 — Полесская; 13 — Жлобинская; 14 — Рязано-Сердобская; 15 — Латвийская; 16 — Сухонская.

Впадины, прогибы, выступы и поднятия юго-западной окраины платформы: 17 — Брестская впадина; 18 — Львовско-Люблинский прогиб; 19 — Ратновский выступ (горст); 20 — Волынская впадина; 21 — Предкарпатский краевой прогиб; 22 — Северо-Молдавское поднятие; 23 — Преддобруджинский прогиб; 24 — Причерноморская впадина; 25 — Каркинитская впадина.

26 — Ростовский погребенный выступ Украинского щита; 27 — южный погребенный склон Украинского щита; 28 — Хибинский щелочной массив; 29 — Ловозерский щелочной массив

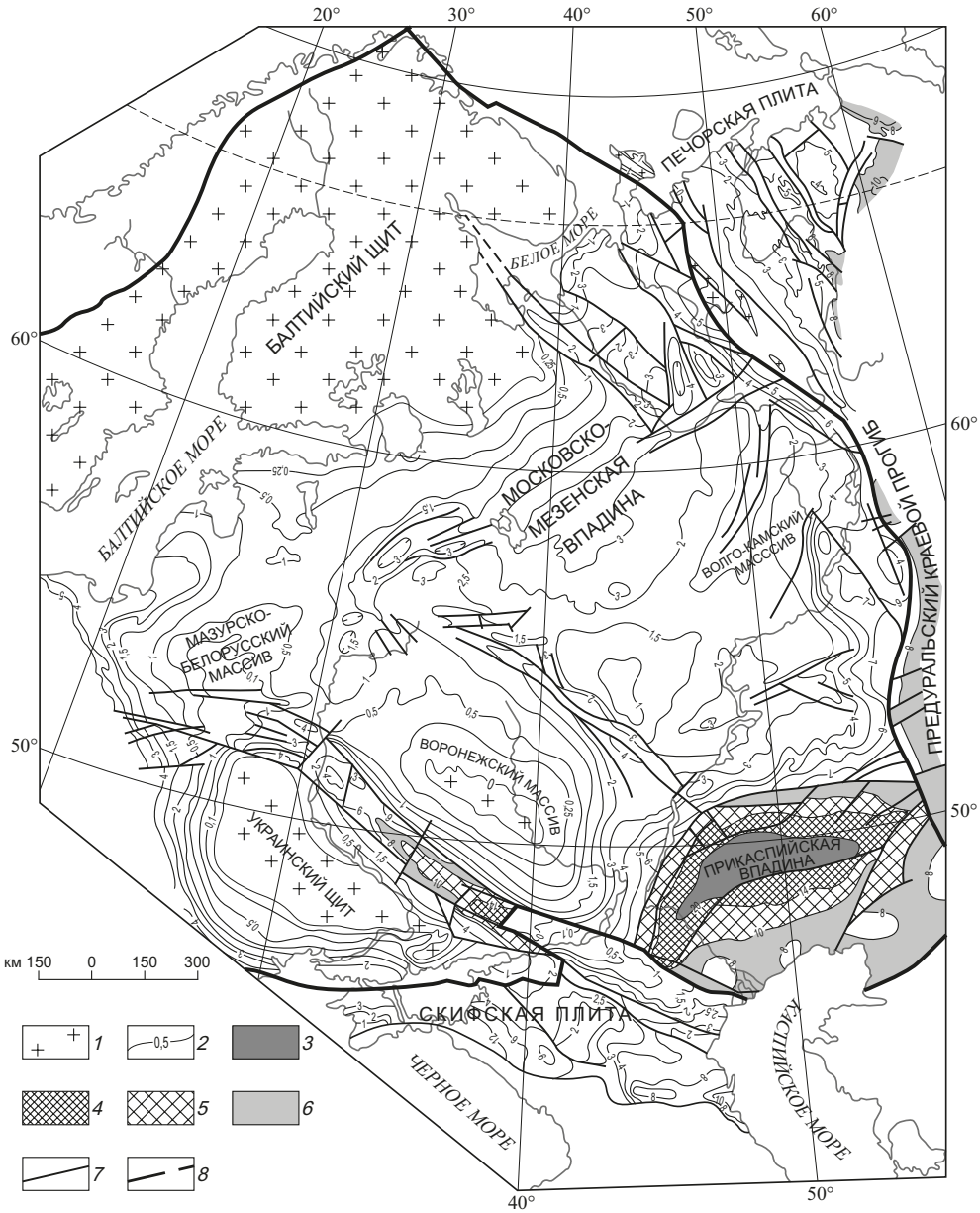

Рис. 3. Схема рельефа поверхности разновозрастного фундамента Русской, Скифско-Туранской и Тимано-Печорской платформ, по [Геология и полезные ископаемые России. Т. 1, ч. 1, 2006].

1 — щиты; *2* — изолинии глубины залегания поверхности фундамента, км.

Глубины залегания поверхности фундамента: *3* — более 20 км; *4* — от 14 до 20 км; *5* — от 10 до 14 км; *6* — от 8 до 10 км.

7 — главные разрывные нарушения; *8* — границы Русской платформы

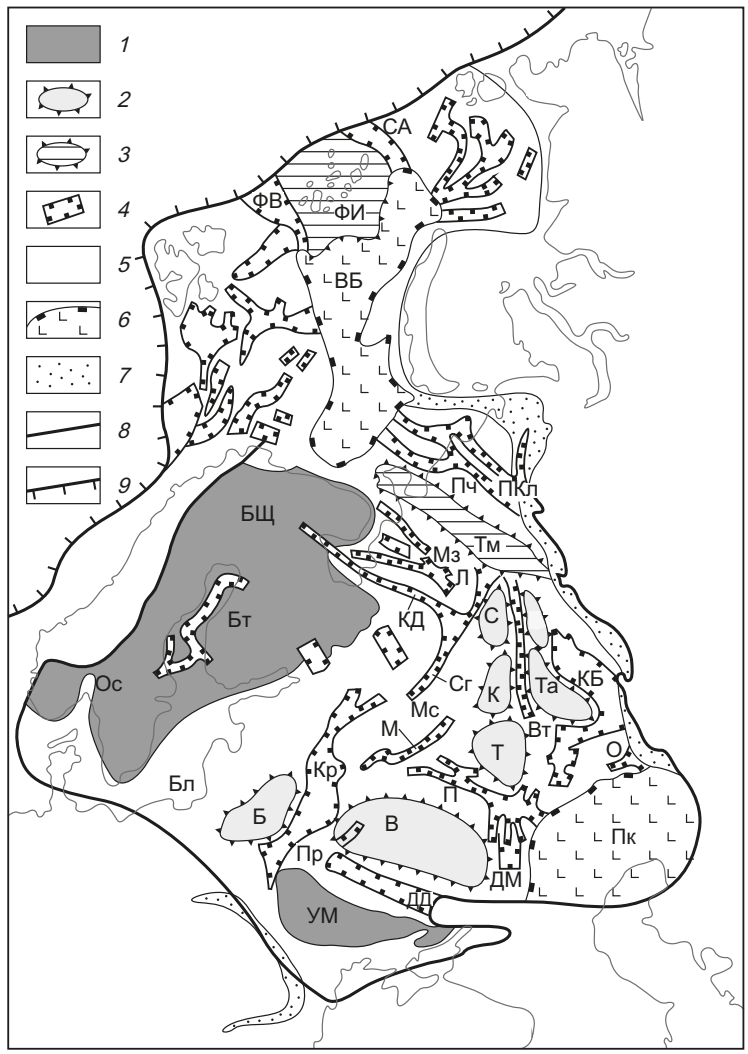

Рис. 4. Тектоническая схема чехла докембрийского континента Восточной Европы, по [Хаин, 2001].

1 — выступы раннедокембрийского фундамента: БЩ — Балтийский щит, УМ — Украинский массив; *2* — поднятия раннедокембрийского фундаменте, в том числе антеклизы: Б — Белорусская, В — Воронежская и своды Волго-Уральской антеклизы (Т — Токмовский, К — Котельничский, С — Сысольский, Та — Татарский); *3* — поднятия с позднепротерозойским фундаментом: Тиманское (Тм), антеклиза Франца-Иосифа (ФИ); *4* — разновозрастные рифты и авлакогены: ДМ — Доно-Медведицкий, ДД — Днепровско-Донецкий, П — Пачелмский, ПКл — Печоро-Колвинский, Пр — Припятский, КБ — Камско-Бельский, КД — Кандалакшско-Двинский, Кр — Крестцовский, ПЛ — Пашско-Ладожский, М — Московский, О — Оренбургский, Сг — Солигаличский, Вт — Вятский, Бт — Ботнический, Ос — Осло, Л — Лешуконский, ФВ — Франц-Виктория, СА — Святой Анны; *5* — синеклизы с умеренной мощностью платформенного чехла, в том числе: Бл — Балтийская, Мс — Московская, Мз — Мезенская, Пч — Печорская; *6* — глубокие впадины (батисинеклизы): ВБ — Восточно-Баренцевская, Пк — Прикаспийская; *7* — передовые прогибы орогенов; *8* — граница докембрийского фундамента Восточной Европы; *9* — современная пассивная окраина континента Евразии