

Арктическая окраинно-планетарная зона

Ю. Г. Кутинов ¹, доктор геолого-минералогических наук
Центр космического мониторинга Арктики Северного (Арктического)
федерального университета им. М. В. Ломоносова,
ФГБУН Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН

З. Б. Чистова ², кандидат геолого-минералогических наук,
Т. Я. Беленович, доктор геолого-минералогических наук
ФГБУН Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН

На основе анализа комплекса геолого-геофизических данных выделена единая циркумполярная зона влияния зоны спрединга Северного Ледовитого океана на континентальную часть севера Евразии, что говорит о единстве происходящих здесь современных геодинамических процессов и позволяет корректно сопоставлять материалы по разным северным территориям Российской Федерации. Полученные результаты могут служить дополнительной аргументацией при обосновании границы континентального шельфа России.

Ключевые слова: Арктика, геодинамика, Арктическая окраинно-континентальная зона, север Евразии.

Введение

Ранее авторами был рассмотрен Арктический сегмент земной коры как геоэкологическая структура I порядка [21]. При этом указывалось на наличие в нем планетарных окраинно-континентальных зон, которые предлагается рассматривать в качестве геоэкологических структур II порядка. Следует отметить, что, несмотря на довольно частое применение в научных публикациях термина «окраинно-континентальная зона», он до сих пор не приобрел однозначного определения. Под ним понимаются и «переходная зона от материка к океану» как «область взаимопроникновения континентальных и океанских элементов рельефа и типов земной коры» [10, с. 262], и «окраина материковая подводная» «как крупнейший элемент мегарельефа Земли, образуемый материковой отмелью, склоном и подножием, или желобом океанским с краевым валом» [10, с. 30]. Е. Н. Востоков [7] в качестве важнейших геоэкологических и экономико-экологических объектов предлагает прибрежно-морские зоны, включающие береговую зону, шельф и полосу прибрежной суши шириной от первых десятков до 100—200 км. И. К. Волчанская и Е. Н. Сапожникова выделяли по данным дешифрирования Азиатскую часть Тихоокеанской окраинно-континентальной зоны [6], которая характеризуется общим монотонным воздыманием

поверхности Мохо к океану от 45 до 25 км и утоненной низкоскоростной существенно салической континентальной корой, которая на границе с океаном сменяется относительно высокоскоростной тонкой фемически-салической корой островных дуг. Термин «Арктическая окраинно-континентальная зона» (АОКЗ) применялся и Д. А. Додиним [14]. Под ней понимается структура, пространственно приуроченная к границам Северного Ледовитого океана и характеризующаяся широким развитием рифтогенных структур. По результатам анализа сейсмичности, активных разломов и спутниковых измерений Ю. Г. Гатинский и Д. В. Рундквист выделили северную часть Евроазиатской плиты (Северо-Евразийскую плиту), которую они интерпретируют как самостоятельную, относительно неделимую структуру литосферы [9]. Во всех упомянутых работах практически не указаны ни границы объектов, ни принципы их выделения. Исключением является исследование И. К. Волчанской и Е. Н. Сапожниковой [6], где рассматривается граница, выделяемая по данным дешифрирования морфоструктур.

Отражение границ Арктической окраинно-континентальной зоны в геолого-геофизических материалах

Рассматривая Арктическую окраинно-континентальную зону, следует отметить, что в морфоструктурах Арктической геодепрессии на более детальном уровне выделяются следующие

¹ e-mail: kutinov@iepn.ru.

² e-mail: zchistova@yandex.ru.

литосферные ступени [3]: рифтовая зона Срединно-Арктического хребта, абиссаль, внешний шельф, окраинно-континентальная и континентальная; зоны сочленения: кратон-шельф, шельф-абиссаль и аваншельф-абиссаль. Геоэкологически в состав АОКЗ более целесообразно включать материковую центриклиналь и внутренний шельф, исходя из сочетания: источник поступления материала (аккумулятивные и денудационно-аккумулятивные равнины) — место захоронения и переотложения (внутренний шельф). Кроме того, это сочетание двух геодинамических зон характеризуется отчетливым взаимодействием не только между ними, но и имеет одинаковые тенденции в реакции напряженно-деформированного состояния на динамическое воздействие зоны спрединга. Внутренним контуром АОКЗ в этом случае являются Евразийская и Амеразийская шельфовые ступени. Первая ступень состоит из Свальбардского и Карского шельфовых блоков, разделенных межблочным Баренцевским прогибом [3]. Ступень отделена от кратонов прогибами, являющимися наиболее крупными тектоническими границами между континентальными ступенями. На северо-востоке Евразийская шельфовая ступень через уступ (континентальный склон) сопрягается с абиссальной ступенью котловины Нансена. Северо-западной границей шельфовой ступени является аваншельфовая ступень плато Ермак.

В пределах Амеразийской депрессии устанавливается одноименная шельфовая литосферная ступень, состоящая из Восточно-Сибирского, Бофортско-Чукотского и Канадско-Архипелажного шельфовых блоков [3]. От Амеразийской абиссальной ступени она отделена аваншельфовой структурой, состоящей из аваншельфовых блоков и поднятий Ломоносова, Менделеева, Альфа, плато Моррис Джесуп и котловины Подводников.

Сложнее дело обстоит с южными границами АОКЗ. В одной из работ, посвященных экологии Арктики, выдвинуто положение, что «единственным весьма важным параметром, поддающимся в настоящее время картированию, а значит, определению границ, является размещение ведущих типов месторождений полезных ископаемых» [3, с. 51]. В результате к Арктической зоне были отнесены металлогенические провинции, угленосные бассейны и нефтегазосносные области, которые, с одной стороны, большинством исследователей признаны в ранге арктических. С другой стороны, созданные на основе этих минерагенических таксонов промышленные предприятия оказывают максимальное воздействие на арктическую природную среду. Обоснованная таким образом сухопутная граница арктического региона [3] проходит на восток от Мончегорска, охватывая северную часть Кольского полуострова, спускаясь от меридиана 42° в. д. к Северному полярному кругу и проходя по нему до 62° в. д., а затем поднимается на север к Воркуте, пересекает далее северные оконечности Байдарацкой, Обской и Тазовской губ

и реку Енисей на 68-й параллели. От последней она проходит на 80—150 км южнее широтного течения реки Хеты, пересекая далее реку Котуй у 69°20' с. ш., реку Лену у 71° с. ш., спускаясь к реке Индигирке у Северного полярного круга, и вблизи него уходит к восточной границе России.

Не отрицая возможность такого подхода, авторы хотели бы отметить несколько обстоятельств:

- не совсем ясны критерии отнесения минерагенических таксонов к арктическим;
- ореол воздействия на арктическую природу может быть шире минерагенического таксона, а может быть и меньше или совсем отсутствовать в зависимости от сроков функционирования горнодобывающей промышленности [21]; во всяком случае, при таком подходе крайне затруднено создание прогностических моделей;
- происходит замена естественных природных границ на целевые;
- из рассмотрения выпадают современные геодинамические системы и, как следствие, анализ напряженно-деформированного состояния земной коры.

В своем исследовании авторы ориентировались на положение, что древние платформы не являются тектонически пассивными геодинамическими системами, а достаточно подвижны, особенно вблизи складчатых областей [2]. Поэтому в основу выделения границы АОКЗ нами было положено трассирование «следа» воздействия в первую очередь межплитной границы и активных геодинамических систем, конформных зоне спрединга. «Следы» воздействия активной межплитной границы отмечаются практически во всех структурах Евроазиатской плиты:

1. Наличие границы раздела Восточно-Европейской платформы, которая в кайнозойе подразделяется на две существенно различные части, граница между ними проходит в субширотном (запад-юго-западном — восток-северо-восточном) направлении [24]. К тому же по результатам глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) на севере платформы достаточно четко выделяется субширотная полоса повышенной раздробленности земной коры (конформная зоне спрединга), южная граница которой проходит примерно по 60° с. ш. (рис. 1а). Эта полоса отчетливо выделяется в структуре первого и третьего (трехслойная модель) слоев земной коры и в скорости Р-волн на поверхности Мохо.

2. Неотектоническая и четвертичная структура и основные особенности северной половины Русской плиты обусловлены развитием Фенно-Скандинавского поднятия (Балтийский щит с Норвежским орогеном). Здесь, в пределах плиты, отчетливо проявлены зоны валобразных поднятий и зоны впадин, которые концентрически огибают Фенно-Скандинавский свод, а также серия поперечных к ним (радиальных) линейных элементов, представляющих, вероятно, зоны растяжения и повышенной

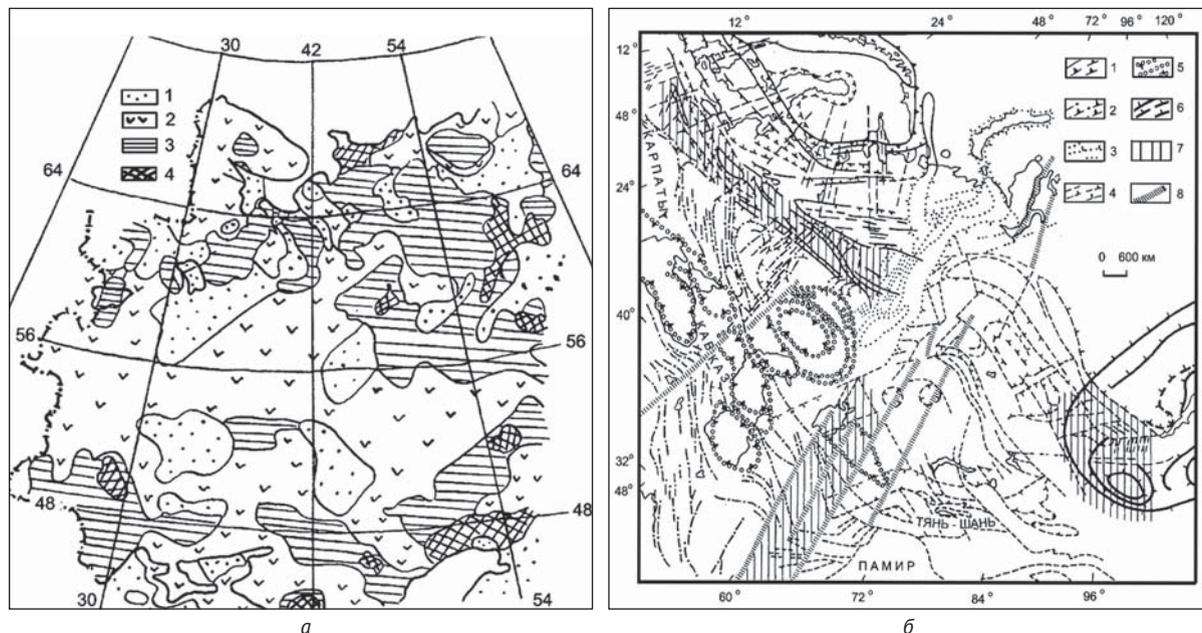


Рис. 1. Отражение границы АОКЗ Восточно-Европейской платформы:
 а – скорость Р-волн на поверхности Мохоровичича [33]: 1 – блоки со средней скоростью Р-волн 7,8–8,0 км/с, 2 – 8,2 км/с, 3 – 8,4 км/с, 4 – более 8,4 км/с;
 б – новейшие геодинамические системы центральной части Северной Евразии [27]: 1 – Скандинавская, 2 – Альпийская, 3 – Уральская, 4 – Центрально-Азиатская, 5 – Черноморско-Каспийская, 6 – Байкальская; 7 – зоны сопряжения геодинамических систем; 8 – крупнейшие зоны флексурно-разрывных нарушений

трещиноватости земной коры, а также зоны тектонических ступеней (флексур). Фронт динамического влияния Фенно-Скандии на Русскую плиту достигает Среднего Урала, ограничиваясь на востоке структурами Тимана и Урала, а на юге — Смоленско-Дмитровско-Ветлужским валом и другими структурами, которые образуют названный ранее региональный раздел в новейшей структуре Восточно-Европейской платформы (рис. 1б) [24].

На сегодня достаточно хорошо обоснована гляциостатическая природа современного поднятия Фенно-Скандии и сопряженных опусканий по его периферии [34]. Но скорее всего это не единственная причина наблюдаемого процесса. Исследования сейсмичности Фенно-Скандии и Канадского щита [1] показали, что одного процесса разгрузки оледенения недостаточно для объяснения наблюдаемых закономерностей в пространственном распределении очагов землетрясения. По-видимому, повышенная сейсмичность региона обусловлена действием напряжений, передаваемых из зоны спрединга и накладывающихся на литосферу, испытывающую современное воздымание. При этом и сам свод Фенно-Скандии смещается в юго-восточном направлении под влиянием давления спредингового хребта Северной Атлантики, и смежная Русская плита испытывает механическое давление со стороны свода (концентрические зоны поднятий и впадин). Кроме того, отчетливо видно, что влияют и другие факторы:

- Ротационные силы, связанные с изменением скорости вращения Земли и являющиеся источником распространения волн по поверхности шара [11]. Поскольку Земля является вращающимся шаром, единственное обоснованное решение для абстрактной модели Земли как планетарного тела — поместить источник волн на полюсе. Так, анализ карты геоида (квазигеоида) Фенно-Скандии [26] позволяет сделать вывод, что свод расположен на «склоне» крупной ундуляции геоида в Северной Атлантике с центром в районе Исландии.
 - Особенности глубинного строения Фенно-Скандии (наличие мантийного «якоря» — погружения литосферы до глубин 200 км, что подтверждается сейсмическими данными и величинами теплового потока [32]). Аналогичная картина наблюдается в районе Сибирской платформы и Южно-Африканского кратона [31], Бразильского и Канадского щитов [23]. Не исключено, что это общая закономерность строения щитов, обуславливающая их тенденцию к длительному устойчивому воздыманию.
- Испытывая давление со стороны зоны спрединга, Фенно-Скандинавский свод за счет мантийного «якоря» представляет собой как бы многослойную структуру (в вертикальном разрезе), в которой движение каждого слоя имеет собственную скорость (максимальную в верхнем более жестком слое) [20]. В результате происходит проскальзывание верхнего слоя, приводящее к возникновению коробления верхних частей земной коры, латеральных срывов

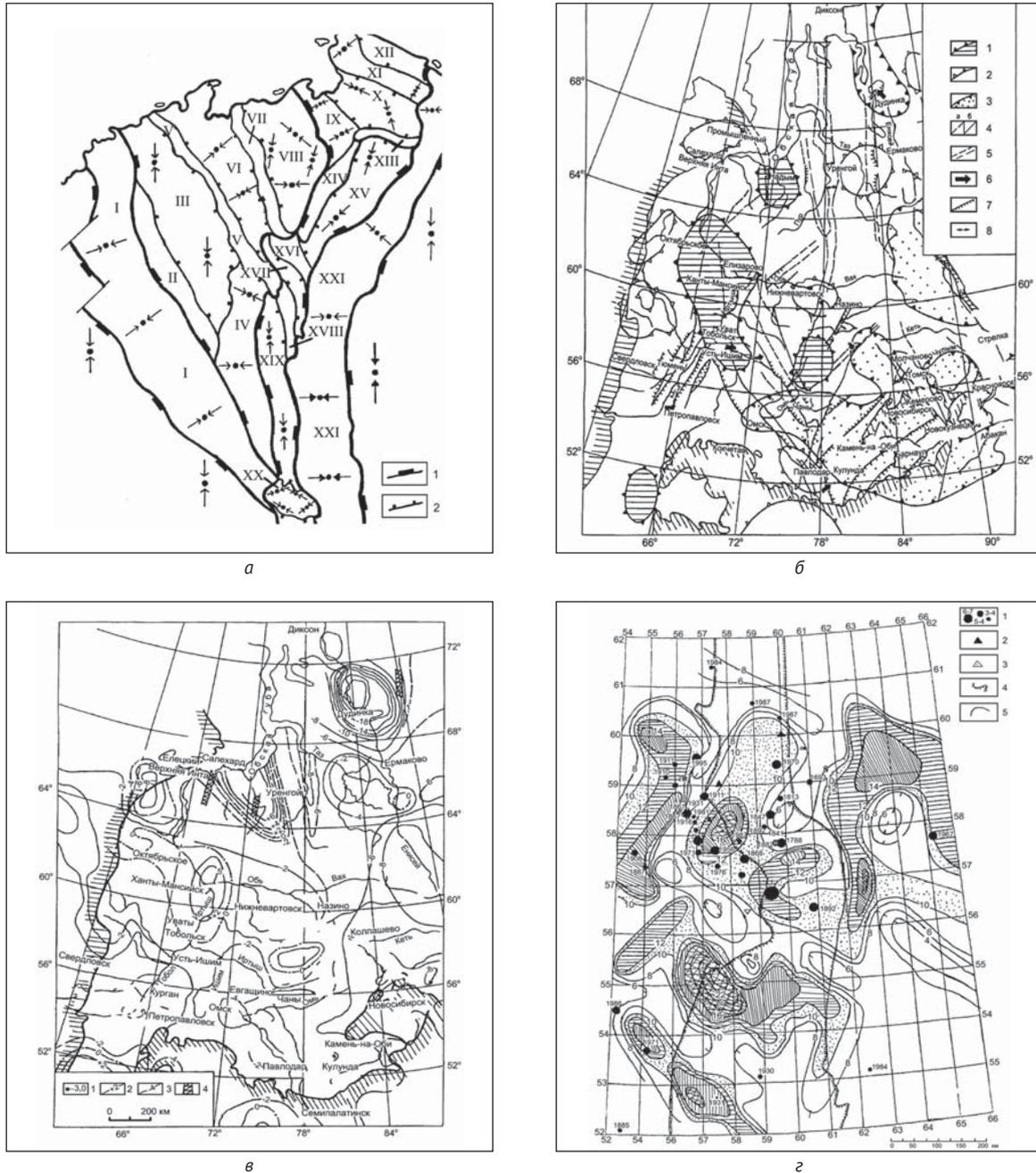


Рис. 2. Отражение границы АОКЗ в пределах Тимано-Печорской, Западно-Сибирской плит и северной части Урала: а – ориентация новейших и современных полей сжатия блоков земной коры в пределах структур Тимано-Печорской плиты [17] (границы структур: 1 – крупнейших (надпорядковых), 2 – первого порядка; структуры: I – Тиманская гряда, II – Керичская ступень, III – Ижемская впадина, IV – Омра-Лузская седловина, V – Печоро-Кожвинский мегавал, VI – Денисовский прогиб, VII – Печоро-Колвинский мегавал, VIII – Большеземельский свод, IX – Пайхойский форланд, X – Кортаихинская впадина, XI – поднятие Пай-Хой, XII – Карская впадина, XIII – Поднятие Чернова, XIV – Уральский форланд, XV – Косью-Роговская впадина, XVI – Сотчемкыртынское поднятие, XVII – Большесынинская впадина, XVIII – Средне-Печорское поднятие, XIX – Верхне-Печорская впадина, XX – Полюдовское поднятие, XXI – Уральский кряж); б – карта современной кинематики земной поверхности Западной Сибири [18] (1 – абсолютные сводовые поднятия, 2 – относительные поднятия, 3 – структуры интенсивного прогибания, 4 – разломы, выявленные геолого-геофизическими методами (а), проявившиеся в современных деформациях (б), 5 – грабен-рифты; типы деформаций в зонах активных разломов: 6 – региональный наклон, 7 – ступенеобразная деформация, 8 – изгибная деформация); в – карта современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) Западной Сибири [18] (1 – нивелирные реперы и скорости СВДЗК, мм/год, 2 – изобаты, мм/год, 3 – гипсометрические изобаты, мм/год, 4 – зоны повышенных значений горизонтальных градиентов скорости СВДЗК); г – схема сопоставления материалов по Уралу [12] (1 – землетрясения силой 3–4, 4–5, 5–6, 6–7 баллов, 2 – природно-техногенные землетрясения и горные удары, 3 – геофизическая лаборатория «Арти», 4 – контур «обнаженного» Урала, 5 – изолинии амплитуд грозовой активности Урала)

(волноводы-линзы и зоны трещиноватости на глубинах 10—15 км) и распространению зон повышенной трещиноватости и флексур в осадочном чехле. Сам мантийный «якорь» испытывает наряду с горизонтальным давлением и косое выдавливание, сопровождающееся латеральным перетеканием вещества. Подобное предположение имеет дискуссионный характер, но позволяет объяснить волновую картину гравитационного поля Фенно-Скандии, наличие линз волноводов, шаг распространения флексур в осадочном чехле, а также явление устойчивого наследования рифтогенных структур Фенно-Скандии, ставящее, по мнению некоторых авторов, под сомнение положения концепции тектоники плит. Возможность перемещения мантийного астенолита в составе мантийного «якоря» снимает это кажущееся противоречие. Кроме того, в рамках предложенной модели находит достаточно простое и логичное объяснение строение краевой зоны каледонид Скандинавии. Сочетание перечисленных факторов со сложным блоковым строением Фенно-Скандии определяет присущую своду кинематическую и динамическую разнородность подвижек.

3. Характер распределения новейших и современных полей сжатия в пределах Тимано-Печорской и Баренцево-Карской плит [17] (рис. 2а), показывающий, что южную границу АОКЗ можно провести по южному окончанию Печорской плиты.

4. Повышенная сейсмичность северной части Урала [12; 13] (рис. 2г), совпадающая с областью повышенной активности геофизической среды и повышенной частоты горных ударов. Граница раздела проходит на широте Екатеринбурга.

5. Наличие контрастных современных деформаций северной части Западно-Сибирской плиты [18] (рис. 2б и 2в).

6. Осложнения в ходе изотерм распределения температур на территории Сибирской платформы на глубине 5 км (рис. 3а) и характере распределения теплового потока в районе Туры (рис. 3б). Пережим изолиний поверхности фундамента (рис. 3в) и изолиний граничных скоростей на Мохо (рис. 3г) на той же широте в районе реки Моркока позволяет говорить о наличии границы и на территории Сибирской платформы. Эта граница отчетливо выделяется и по данным ГСЗ [25] по профилям «Метеорит» и «Рифт» (рис. 4а).

7. Несколько сложнее выглядит ситуация на Северо-Востоке, так как эта территория геодинамически является областью сочленения зоны планетарного растяжения (Срединно-Арктической) и зоны планетарного сжатия (субдукция Тихоокеанской плиты). Тем не менее, несмотря на ярко выраженную субмеридиональную зональность, там выделяются сегменты субширотного простираения [6], которые находят отражение в минерагении, строении земной коры и геоморфологии (рис. 4б).

8. Та же граница (АОКЗ), хотя и менее отчетливо (вероятно, в связи с фрагментарностью исследований), просматривается и в характере коровых

аномалий электропроводности: на территории Восточно-Европейской платформы — по смене простираения зон электропроводности, на Урале и Сибирской платформе — по смене природы аномалий (на севере — электроннопроводящая, на востоке — флюидная; рис. 4в).

Анализ геолого-геофизических материалов на более глобальном уровне подтверждает наличие выделенной нами окраинно-континентальной зоны и пространственное положение ее южной границы (рис. 5). В результате мы выделили единую циркумполярную зону влияния зоны спрединга Северного Ледовитого океана, что говорит о единстве происходящих здесь современных геодинамических процессов и позволяет корректно сопоставлять материалы по разным северным территориям России. Полученные результаты могут служить дополнительной аргументацией при обосновании границы континентального шельфа России.

В одной из более ранних работ [19] нами был сделан вывод о преобладании режима сжатия в районе Лаптевоморского шельфа. Проведенные в последние годы исследования Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта (ИФЗ) РАН (данные GPS-станций) подтвердили наш вывод о том, что этот район (включая хребет Черского) относится к Евроазиатской плите (рис. 6) и принятые ранее границы Евроазиатской плиты необходимо пересматривать.

Арктическая планетарная окраинно-континентальная зона характеризуется сложным сочетанием складчатых поясов, древних и молодых платформ. Поскольку геологические структуры АОКЗ являются частью литосферных плит, многие особенности их тектоники (в том числе и платформенной) необходимо рассматривать на фоне более общих геодинамических процессов. В возникновении напряжений и деформаций на континентальных территориях участвуют силы разной природы: внешние, приложенные в основном к границам плит (коллизонные и силы давления спрединговых хребтов); ротационные; силы, возникающие за счет подачи энергии из мантии; локальные силы. В большинстве случаев соотношение указанных сил варьирует и имеет место интегральный эффект их воздействия. Не является исключением и Арктическая окраинно-континентальная зона.

Основная функция иерархической структуры в данном случае заключается в том, что при воздействии на систему возникающие в ней напряжения распределяются неравномерно, концентрируясь на неоднородностях разных структурных уровней, т. е. иерархия структурных уровней порождает неоднородное поле напряжений с концентраторами разных размеров и интенсивности [30]. В связи с неоднородностью поля напряжений деформация также неоднородна и развивается локализованно в концентраторах, так как в этих областях раньше, чем в любых других частях системы, напряжения достигают предельных значений. Инструментальные измерения, проведенные при подземных взрывах, показали, что движения

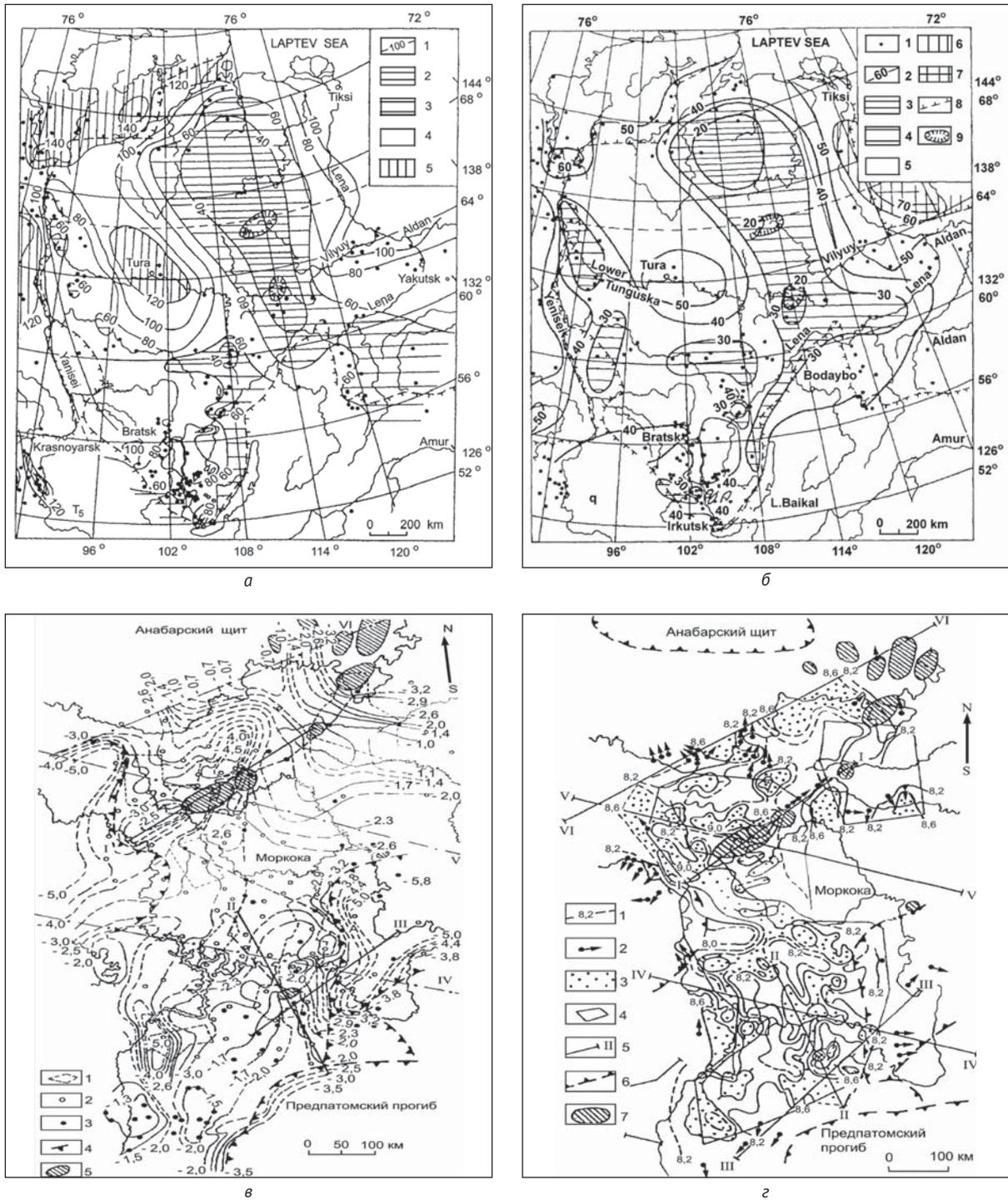


Рис. 3. Отражение границы АОКЗ в пределах Восточно-Сибирской платформы:
 а – распределение температуры в земной коре Сибирской платформы на глубине 5 км [15] (1 – изолинии температуры, °С; 2–5 – районы однородных температур: 2 – ниже 40°С, 3 – 40–60°С, 4 – 60–120°С, 5 – более 120°С; остальные условные обозначения см. к рис. 3б);
 б – карта теплового потока Сибирской платформы [15] (1 – пункты геотермических измерений, 2 – изолинии теплового потока, мВт/м², 3–7 – районы однородного теплового потока: 3 – ниже 20 мВт/м², 4 – 20–30 мВт/м², 5 – 30–60 мВт/м², 6 – 60–70 мВт/м², 7 – более 70 мВт/м², 8 – граница Сибирской платформы, 9 – районы алмазоносных кимберлитов);
 в – карта поверхности кристаллического фундамента [29] (1 – контуры расположения станций, 2 – определение глубины до фундамента по пунктам взрыва, 3 – скважины, вскрывшие фундамент, 4 – контуры геологических структур, 5 – кимберлитовые поля);
 г – карта граничной скорости на поверхности Мохо [29] (1 – изолинии скорости, 2 – определение скорости по пути пробега волн вдоль поверхности Мохо, 3 – скорости больше 8,6 км/с, 4 – контуры участков на поверхности Мохо, от которых получены преломленные волны, 5 – профили ГСЗ, 6 – контуры геологических структур, 7 – кимберлитовые поля)

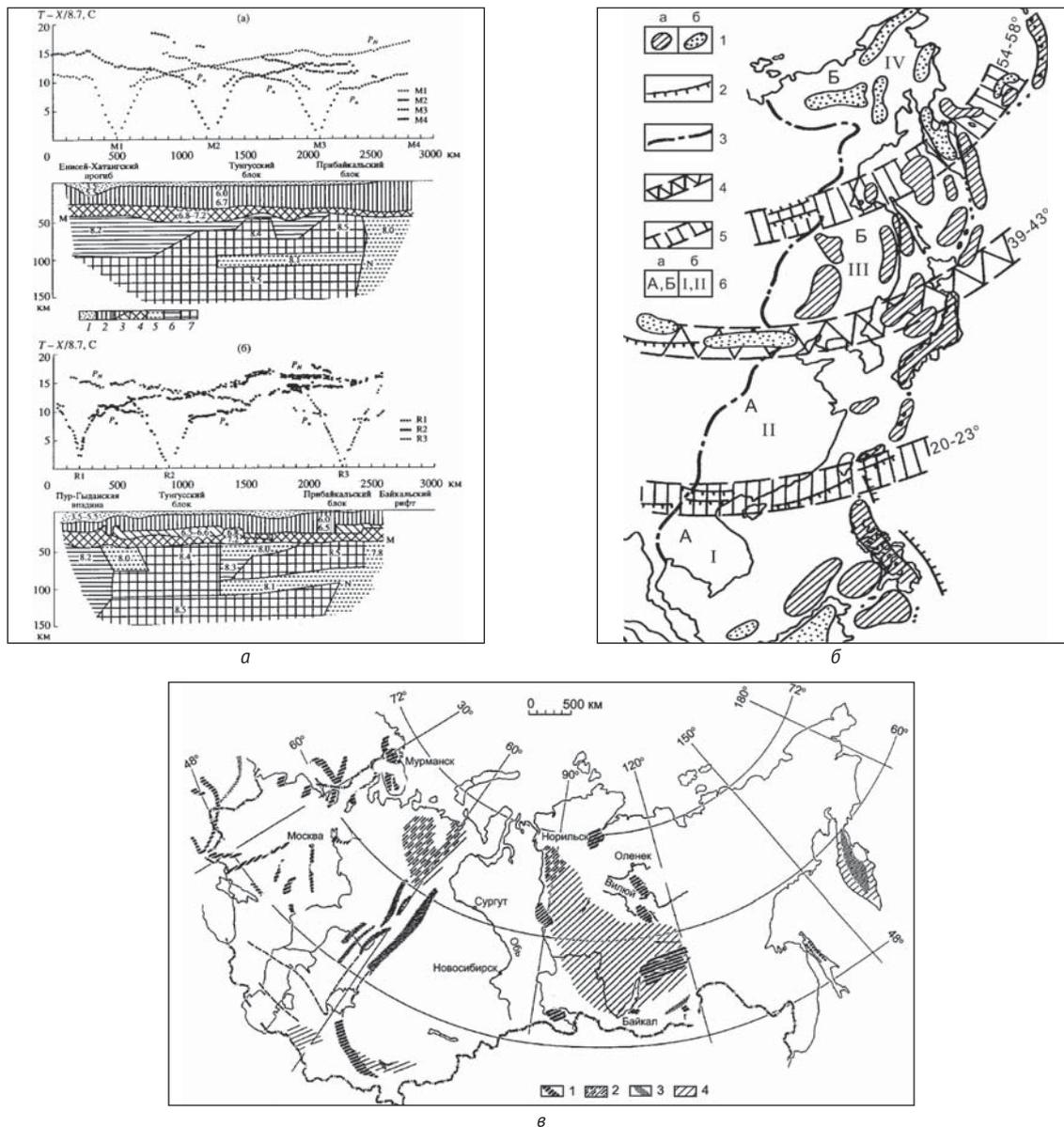


Рис. 4. Отражение границы АОКЗ в пределах Восточно-Сибирской платформы и Северо-Востока:
 а – наблюдаемые годографы опорных волн от ядерных взрывов и построенные по ним сейсмические разрезы верхов мантии по профилям «Метеорит» (а) и «Рифт» (б) [25]: 1 – осадочный чехол с сейсмическими скоростями менее 3,8 км/с; слои консолидированной коры со скоростями: 2 – 6,0–6,4 км/с, 3 – 6,5–6,7 км/с, 4 – 6,8–7,2 км/с; слои и блоки верхней мантии с пониженными (5), нормальными (6) и повышенными (7) скоростями;
 б – сегментация континентальной окраины (КО) по данным глубинной неоднородности [6]: 1 – изолированные тах (а) и min (б) в рельефе поверхности Мохо, 2 – градиентные зоны, 3 – 40-километровая изолиния глубины залегания поверхности Мохо, 4 – границы секторов, 5 – границы сегментов, 6 – индексы (а – секторов КО, б – сегментов в КО);
 в – схема расположения коровых аномалий электропроводности [16]: 1 – линейные зоны и пояса проводимости, 2 – широкие области пониженного сопротивления земной коры, 3–4 – аномалии флюидной природы (3 – линейные области повышенной проводимости, 4 – аномалии, распространенные на больших территориях)

в реальной геологической среде, вызванные внешними динамическими воздействиями, имеют немонотонный характер, что можно объяснить только блочным строением среды и возникновением в структурированной среде моментов сил, вызывающих стесненный поворот блоков разного иерархического уровня [28]. Таким образом, внешнее воздействие гасится за счет перераспределения энергии путем стесненных

поворотов блоков различного иерархического уровня и глубинности. Последнее подтверждается приуроченностью активизированных структур вдоль континентальной границы АОКЗ [21]. Несколько иначе на внешнее воздействие реагируют орогены и молодые плиты, первые — за счет иной симметрии структуры, вторые — вследствие наличия более пластичной литосферы. При воздействии со стороны спрединга на

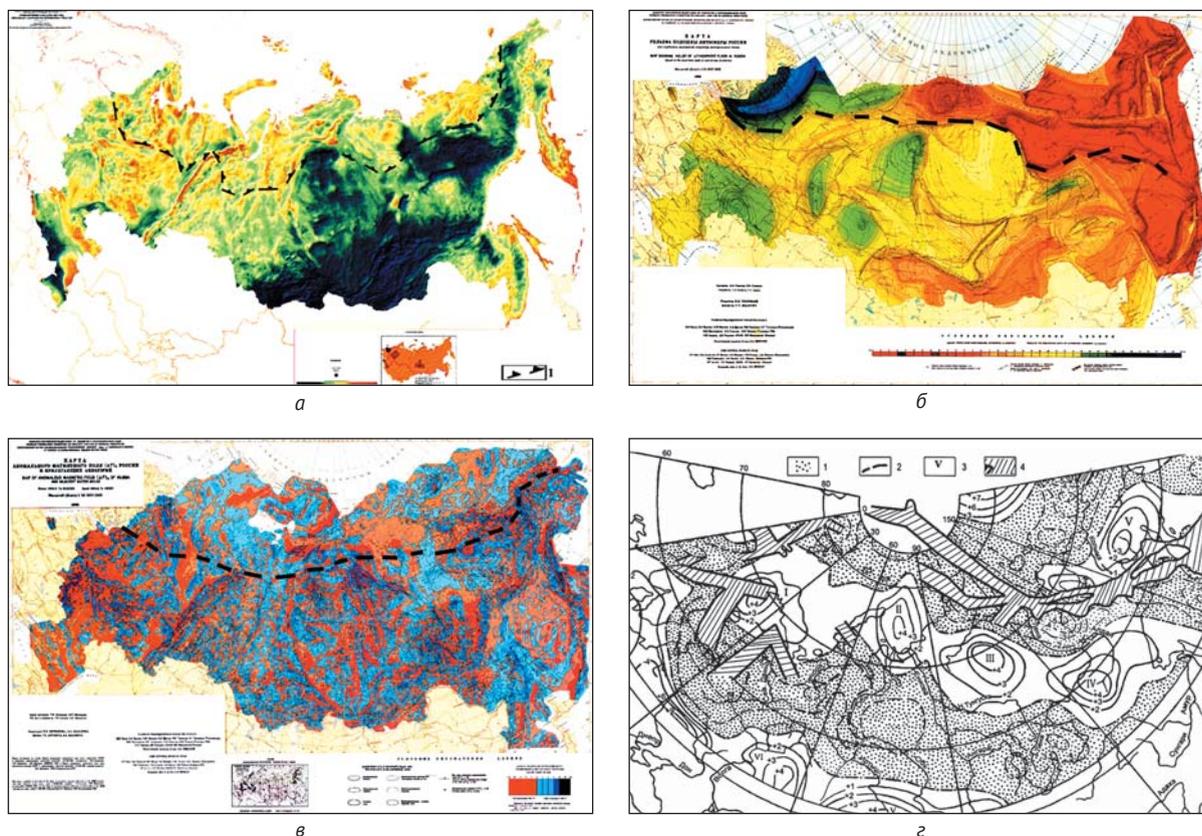


Рис. 5. Схема сопоставления геофизических материалов [22]: а – гравиметрическая карта России [4], б – карта рельефа подошвы литосферы России [4], в – карта аномального магнитного поля (ΔТ) России [4] (пунктирной линией показана граница влияния зоны спрединга), г – схема сопоставления характера магнитного поля с КА MAGSAT-400 с сейсмоактивными зонами [21] (1 – отрицательные области аномального магнитного поля (АМП), 2 – нулевые значения АМП, 3 – области корреляции МП с крупными неоднородностями земной коры, 4 – сейсмоактивные зоны; области корреляции АМП с крупными структурными неоднородностями земной коры: I – Балтийский, II – Северо-Карский, III – Анабарский, IV – Алданский, V – Омолонский максимумы АМП)

орогены субмеридионального простираения вектор сил совпадает с осью симметрии орогена или направлен к нему под острым углом. В первом случае воздействие гасится за счет развития системы сдвигов, параллельных оси орогена, во втором — за счет возникновения клинораздвигов (например, Тимано-Печорская плита) или возникновения структур вращения (Полюдов кряж). Примером более пластичной литосферы является Западно-Сибирская плита, которая находится на начальной стадии базификации земной коры, характеризующейся развитым конвективным тепломассопереносом, формирующим сводовые поднятия и прогибы.

Выводы

1. Границы Арктической окраинно-континентальной зоны на территории России выделяются по наличию «следа» воздействия Арктической геодинамической системы на состояние геологической среды.

2. Ее специфическими чертами является наличие в пределах шельфа зоны современных воздыманий и в континентальной части — пояса глубинных структур, конформных береговой линии. В совокуп-

ности они создают геодинамически активный пояс, совпадающий с поясом сейсмичности.

3. Все эти структуры отчетливо выделяются в строении земной коры, структуре фундамента и осадочного чехла, в характере дневной поверхности и в геофизических полях. Пространственно зона активизированных структур приурочена к контакту суши и океана, который характеризуется высокой активностью геодинамических, физико-географических и биологических процессов. В результате на месте тектонических депрессий формируются седиментационные ловушки, в которых естественным образом захораниваются загрязняющие вещества. Активизация геодинамических процессов и землетрясений в этой зоне приводит к переформированию осадков и к вторичному перераспределению загрязняющих веществ в условиях неустойчивого осадконакопления и интенсивного действия вдольбереговых потоков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы 0410-2014-0024 «Разработка комплексной физико-геоэкологической количественной модели взаимодействия (литосфера,

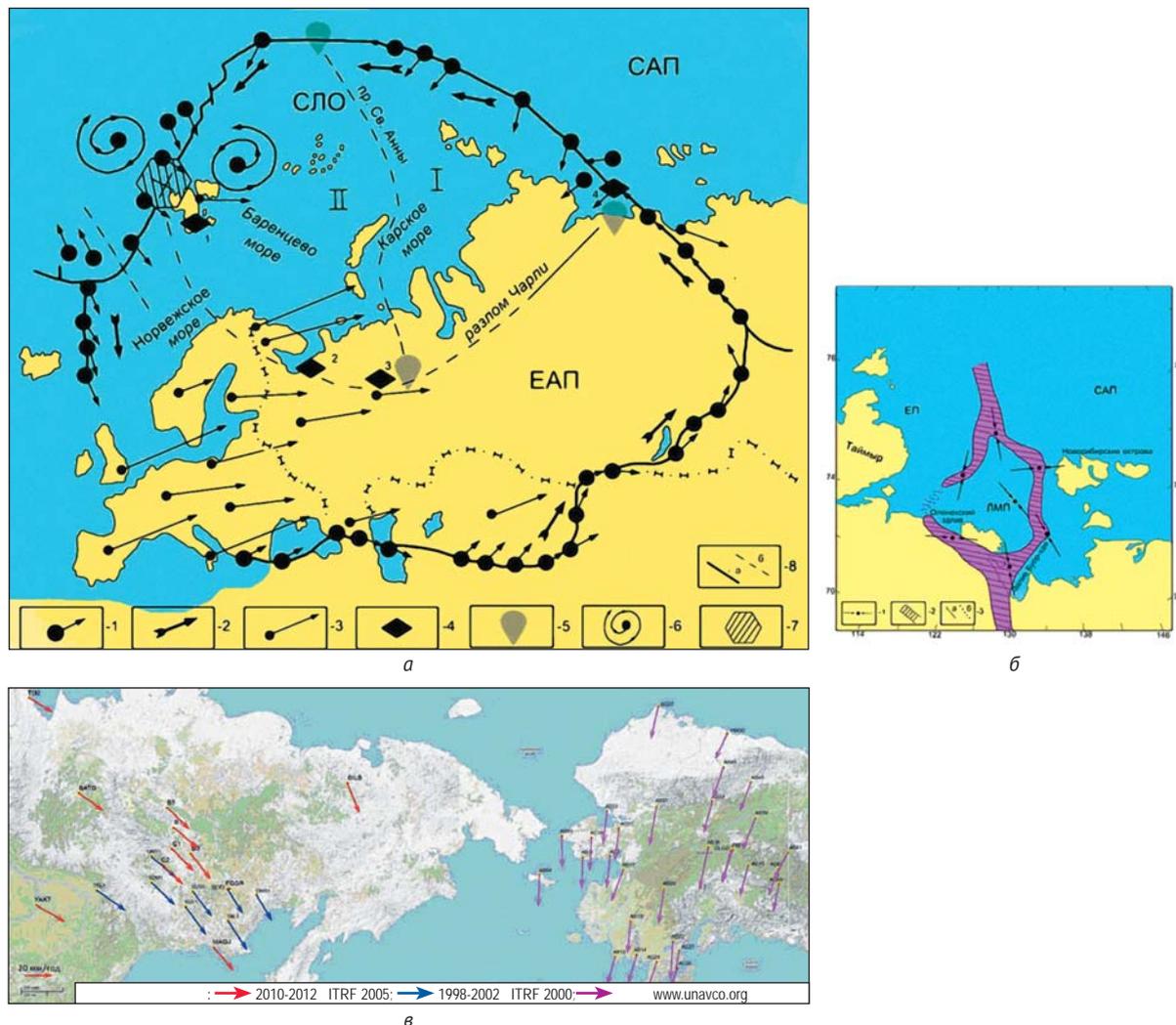


Рис. 6. Схема сопоставления геолого-геофизических материалов и данных GPS-станций [22]:
 а – комплексная карта геодинамического режима Арктического сегмента [5]: 1 – направления векторов скольжения горных масс в очагах сильных землетрясений вдоль южной и северной границ Евразийской плиты, 2 – генерализованное направление векторов вдоль отмеченных границ, 3 – направления векторов движения согласно спутниковой геодезической сети GPS, 4 – региональные зоны, в пределах которых проявились левосторонние смещения, 5 – полюса вращения литосферных плит, 6 – схемы разнотипной (лево- и правосторонней) миграции в очагах слабых ($M = 2,8-3,5$) землетрясений, 7 – расположение предполагаемой зоны-перемычки, разграничивающей разнотипную миграцию, 8 – граница Евразийской литосферной плиты (а), границы выделенных микроплиты и суперблоков (б); ЕАП – Евразийская литосферная плита, САП – Северо-Американская литосферная плита, СЛО – Северный Ледовитый океан;
 б – оси главных нормальных напряжений сжатия в очагах землетрясений Лаптевоморского шельфа [19]: 1 – ориентация осей главных нормальных напряжений сжатия в очагах землетрясений $M = 5,0$ (1964–1998 гг.), 2 – Лаптевоморская микроплита, 3 – границы плиты (а – уверенные, б – предполагаемые), ЛМП – Лаптевоморская микроплита, САП – Северо-Американская литосферная плита, ЕП – Евразийская плита;
 в – векторы горизонтальных движений в регионе контакта северо-востока Азии и западной части Аляски [8] по данным: за 1998–2002 гг., за 2010–2012 гг. по данным ИФЗ РАН для пунктов на территории Аляски по данным UNAVCO (<http://www.unavco.org>)

гидросфера, биосфера, атмосфера и, частично, ионосфера) в районах тектонических узлов севера Русской плиты и оценка их влияния на окружающую среду».

Литература

1. Аветисов Г. П. Сейсмоактивные зоны Арктики. — СПб.: Изд-во ВНИИОкеангеология, 1996. — 185 с.
 2. Адушкин В. В., Шукин Ю. К. Система комплексного изучения динамики техногенных и экологических

процессов в геологической среде Восточно-Европейской платформы (Европейская Россия) // Геоэкология и геодинамика: Материалы междунар. конф. — Архангельск: Изд-во ИЭПС УрО РАН, 1999. — С. 5—8.

3. Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии) / Под ред. И. С. Грамберга и Н. П. Лаврова. — СПб.: Наука, 2000. — 247 с.

4. Атлас геологических и геофизических карт России и прилегающих акваторий / Отв. ред. А. А. Смыслов. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1995.
5. Беленович Т. Я., Кутинов Ю. Г. Современный геодинамический режим и напряженно-деформируемое состояние Срединно-Арктического хребта // Геофизика XXI столетия: 2007 год: Сб. трудов Девярых геофизических чтений им. В. В. Федынского. — Тверь: Изд-во ГЕРС, 2008. — С. 16—22.
6. Волчанская И. К., Сапожникова Е. Н. Анализ рельефа при поисках месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1990. — 159 с.
7. Востоков Е. Н. Прибрежно-морские зоны мира (строение, био- и минеральные ресурсы, проблемы освоения и управления). — М.: Компания Спутник+, 2002. — 739 с.
8. Галаганов О. Н., Гусева Т. В., Крупенникова И. С. ГНСС измерений на северо-востоке Азии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Тез. докл. XI Открытой всерос. конф. [Электронный ресурс]. — М.: ИКИ РАН, 2013.
9. Гатинский Ю. Г., Рундквист Д. В. Геодинамика Евразии — тектоника плит и тектоника блоков // Геотектоника. — 2004. — № 1. — С. 3—20.
10. Геологический словарь. — М.: Недра, 1973. — Т. 1. — 486 с.; Т. 2. — 456 с.
11. Губерман Ш. А. Неформальный анализ данных в геологии и геофизике. — М.: Недра, 1987. — 261 с.
12. Гуляев А. Н., Дружинин В. С. Изучение возможности использования пространственно-временных вариаций грозовой активности для целей геодинамического районирования Урала // Геоэкология и геодинамика: Материалы междунар. конф. — Архангельск: Изд-во ИЭПС УрО РАН, 1999. — С. 92—95.
13. Гуляев А. Н., Дружинин В. С., Кусонский О. А. Пространственно-временные вариации параметров геофизической среды и сейсмичности Урала // Геоэкология и геодинамика: Материалы междунар. конф. — Архангельск: Изд-во ИЭПС УрО РАН, 1999. — С. 95—96.
14. Додин Д. А., Вишневский А. Н., Гулин С. А., Кавардин Г. И. Проблемы минерагении Арктики // Геология и геофизика. — 1994. — Т. 35, № 9. — С. 78—90.
15. Дучков А. Д., Соколова Л. С. Термическая структура литосферы Сибирской платформы // Геология и геофизика. — 1997. — Т. 38, № 2. — С. 494—503.
16. Жамалетдинов А. А. Графит в земной коре и аномалии электропроводимости // Физика Земли. — 1996. — № 4. — С. 12—29.
17. Иотов В. И., Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Внутриплитный ротационно-сдвиговый механизм нелинейной геодинамики и нафтидогенез континентальных и шельфовых окраин юго-западного сектора Арктики // Геоэкология и геодинамика: Материалы междунар. конф. — Архангельск: Изд-во ИЭПС УрО РАН, 1999. — С. 152—154.
18. Кутинов Ю. Г., Беленович Т. Я. Современная геодинамическая модель Севера Евразии // Геофизика XXI столетие: 2006 год: Сб. тр. геофиз. чтений им. В. В. Федынского. — М., 2007. — С. 119—124.
19. Кутинов Ю. Г. Геоэкологические аспекты геодинамики древних платформ // Геоэкология и геодинамика: Материалы междунар. конф. — Архангельск: Изд-во ИЭПС УрО РАН, 1999. — С. 205—207.
20. Кутинов Ю. Г. Экогеодинамика Арктического сегмента земной коры. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 388 с.
21. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Беленович Т. Я. Современный геодинамический режим Арктической окраинно-континентальной зоны // Пространство и время. — 2014. — № 1 (15). — С. 208—215.
22. Лехи К., Тэйлор Р. Влияние глубинной структуры региона Гленни на алмазы в кимберлитах Саскачевана // Геология и геофизика. — 1997. — Т. 38, № 2. — С. 451—460.
23. Макаров В. И. Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. — 1996. — № 3. — С. 53—60.
24. Павленкова Н. И., Солодилов Л. Н. Блоковая структура верхов мантии Сибирской платформы // Физика Земли. — 1997. — № 3. — С. 11—20.
25. Региональные особенности гравитационного поля и геоида Фенноскандии / Абалакин В. К., Богданов В. И. и др. — Доклады АН. — 1988. — Т. 359, № 3. — С. 386—389.
26. Современные изменения в литосфере под влиянием природных и антропогенных факторов / Гл. ред. В. И. Осипов. — М.: Недра, 1996. — 222 с.
27. Сливак А. А. Дифференциальные движения блочных структур при внешних воздействиях // Геоэкология. — 1999. — № 1. — С. 62—76.
28. Суворов В. Д., Юрин Ю. А. и др. Структура и эволюция земной коры и верхов мантии по Якутской кимберлитовой провинции по сейсмическим данным // Геология и геофизика. — 1997. — Т. 38, № 2. — С. 486—493.
29. Талицкий В. Г. Структурные парагенезисы как результат процессов самоорганизации в деформируемой геологической среде // Геотектоника. — 1999. — № 2. — С. 80—93.
30. Хелмштедт Х. Х., Герни Дж. Дж. Геодинамический контроль кимберлитов — какую роль играют горячие точки и плитная тектоника // Геология и геофизика. — 1997. — Т. 38, № 2. — С. 461—476.
31. Шварцман Ю. Г., Ширококов В. Н. Тепловое поле и геоэкологические проблемы нефтегазоносных районов // Экологические проблемы Европейского Севера. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. — С. 228—236.
32. Шукин Ю. К., Ермаков Б. В., Краснопевецова Г. В., Ивановская Л. В. Обобщение данных региональных геолого-геофизических работ для обоснования перспектив экспериментальных глубинных исследований в пределах Русской плиты: Отчет о работах по договору № 1423796/101. — М.: ВНИИГеофизика, 1995. — 184 с.
33. Morner N.-A. The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence // GeoJournal. — 1979. — Vol. 3. — P. 287—318.