

На правах рукописи



ВАГАНОВА Наталья Владиславовна

**СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ
СЕВЕРА РУССКОЙ ПЛИТЫ
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ОБМЕННЫХ ВОЛН
ОТ ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Специальность 25.00.10 – Геофизика,
геофизические методы поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург – 2012

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук, доцент

Французова Валентина Ивановна,

Учреждение Российской академии наук Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Шаров Николай Владимирович,

Институт геологии КарНЦ РАН

доктор геолого-минералогических наук

Дьяконова Аза Григорьевна,

Институт геофизики УрО РАН

Ведущая организация:

Кольский филиал геофизической службы РАН

Защита состоится «16» марта 2012г. в 12³⁰ на заседании диссертационного совета Д 004.009.01, созданного при Учреждении Российской академии наук Институт геофизики УрО РАН (Игф УрО РАН) по адресу: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геофизики УрО РАН.

Автореферат разослан «_____» _____ г.

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук, профессор



Ю.В.Хачай

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние десятилетия большое внимание уделяется комплексному изучению платформенных территорий, как весьма важной и неотъемлемой части общей (единой) геодинамической системы Земли. Принципиально новое положение о том, что Восточно-Европейская платформа как единая структура первого рода является не тектонически пассивной, а достаточно подвижной структурой, особенно в ее окраинных частях, подразумевает более тонкий подход к методике и практике изучения геологической среды платформенных регионов в комплексе всех геофизических работ и, прежде всего, сейсмологических, с подключением новых технологий сейсмического просвечивания. Неоднозначная, но существующая связь поверхностных процессов с глубинными заставляет более внимательно изучать и использовать результаты региональных глубинных исследований. Именно поэтому коровые и мантийные процессы так пристально изучаются в геофизике.

Кроме того, возросший в последние годы интерес к Арктическим и приарктическим территориям, обусловленный геополитическими аспектами, разработкой углеводородных месторождений и созданием разветвленной сети трубопроводов, определяет особую значимость изучения сейсмичности северных континентальных окраин, включая шельфы, а также требует повышения качества обработки и локации сейсмических событий Арктического сектора.

В этой связи, Архангельская область, расположенная на севере Русской плиты Восточно-Европейской платформы, является отличным полигоном для исследований сейсмологическими методами, поскольку на ее территории в настоящий момент развернута система наблюдений из десяти стационарных сейсмических станций, обеспечивающая накопление значительной базы цифровых записей, в свою очередь позволяющей проводить фундаментальные исследования земной коры и мантии. Актуальность работы обусловлена необходимостью получения надежных и детальных данных о границах в литосфере, мантии и переходной зоне мантии под Русской плитой; распределении скоростей, движениях и деформациях, вызванных пластическими течениями в верхней мантии, поскольку именно эти данные дают возможность полнее и точнее описать структуру мантии, ее динамику и эволюцию Земли в целом.

Основные цели исследования:

1. Определение структуры земной коры и верхней мантии в пределах Севера Русской плиты по наблюдениям обменных P_s и S_p сейсмических волн;
2. Построение одномерных моделей скоростного строения земной коры и верхней мантии в подстанционных областях и их сопоставление с результатами комплексных геофизических исследований;
3. Выявление сейсмической азимутальной анизотропии верхней мантии.

Задачи:

- по цифровым записям телесеismicких землетрясений методом приемных функций обменных волн выделить основные границы обмена в литосфере и переходной зоне мантии под Русской плитой;
- получить одномерные модели распределения скорости поперечных волн до глубины 52 км в подстанционных областях путем инверсии функций приемника обменных волн Ps;
- получить одномерную модель распределения скорости продольных и поперечных волн до глубины 100 км путем совместного обращения функций приемника обменных волн Ps и Sp;
- сопоставить полученные сейсмические результаты с другими геофизическими и геологическими данными;
- на основе полученных скоростных моделей рассчитать региональный годограф для локации сейсмических событий на эпицентральных расстояниях до 2000 км;
- провести измерения азимутальной сейсмической анизотропии верхней мантии по расщеплению обменных волн SKS и SKKS.

Объектом исследования настоящей работы является земная кора и верхняя мантия на Севере Русской плиты.

Исходный материал и методы исследования.

В работе использованы цифровые трехкомпонентные записи широкополосных сейсмических станций Климовская KLM (60.85°с.ш., 39.52°в.д.), входящей в Федеральную сеть станций Геофизической службы РАН, и Лешуконское LSH (64.87°с.ш., 45.73°в.д.), входящей в Архангельскую сейсмологическую сеть. В общей сложности обработано 121 землетрясение.

Информационную основу диссертационного исследования составили: оперативный сейсмологический каталог землетрясений Геофизической службы РАН, отчеты камеральных партий и производственных предприятий, проводимых комплексные геолого-геофизические исследования Севера Русской плиты, литературные данные по изучению глубинного строения района исследования.

Для обработки экспериментальных данных и выделения обменных волн была применена современная методика приемных функций обменных волн Ps и Sp (*P- S-receiver functions*) (Vinnik L.P., 1977). Выявление азимутальной сейсмической анизотропии верхней мантии выполнялось по расщеплению квазипоперечных волн в фазах SKS и SKKS (Винник Л.П. и др., 1984, 1988; 1990).

В качестве основных программных средств использовались: программный комплекс обработки сейсмических записей WSG (Windows Seismic Grafer) под управлением операционной системы Windows XP, разработанный в НПП «Геотех» и Геофизической Службе РАН; программный комплекс обработки и анализа сейсмических данных Seismic Handler под операционной системой Linux_Mandriva, разработанный в Сейсмологической

Обсерватории Gräfenberg, разработчик Клаус Стаммлер; а также собственные разработки сотрудников лаборатории сейсмологических исследований ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта к.ф.-м.н. Г.Л. Косарева, к.ф.-м.н. С.И. Орешина, к.ф.-м.н. С.Г. Киселева.

Научная новизна и практическая значимость. На северных окраинах Русской плиты из-за труднодоступности проведение глубинных исследований выполнялись до сих пор в редких случаях традиционными дорогостоящими методами геофизической разведки, что технически сложно, а экономически невыгодно. В нашем случае показана возможность проводить изучение глубинного строения земных недр на основе накопленных цифровых записей далеких землетрясений, используя данные *одиночных* стационарных сейсмостанций, в отличие от других томографических методов, требующих широкой системы сейсмических станций, покрывающих исследуемую территорию. Работа имеет методологический характер и реализует методику функций приемника обменных волн на платформенных территориях. Данные исследования по цифровым сейсмическим записям с использованием современных компьютерных технологий на Севере Русской плиты проведены впервые. Применение метода обменных волн позволило получить надежную, сравнительно детальную информацию о сейсмической (скоростной) структуре земной коры и верхней мантии двух участков на Севере Русской плиты. Выполнено сопоставление полученных результатов с имеющимися сведениями о глубинном строении, основанных на комплексных геофизических исследованиях по профилям ГСЗ, МОВЗ на исследуемой территории. Показана хорошая сходимости результатов, что говорит об эффективности применяемого метода в платформенных областях и открывает перспективы для дальнейших исследований в окрестностях других сейсмических станций Архангельской сети, в том числе на Арктических территориях.

Как дополнение к скоростной структуре литосферы, впервые проведены измерения азимутальной анизотропии верхней мантии в пределах некоторых участков Русской плиты из наблюдений расщепления поперечной волны SKS. Подобные исследования позволяют уточнить представление о состоянии мантийного вещества, деформациях в верхах мантии, характере движения литосферных блоков северной окраины Восточно-Европейской платформы, что, в свою очередь, может выявить наиболее уязвимые в сейсмическом отношении участки. Полученные сведения о скоростях сейсмических волн и измеренные параметры азимутальной сейсмической анизотропии могут служить априорной информацией при глубинном геологическом картировании, а также являются ценными данными для уточнения модели возникновения алмазоносных месторождений Архангельской области.

Кроме того, важным итогом вышеперечисленных работ явилось создание регионального годографа “NORP” (the North of Russian Plate), рассчитанный на основе скоростного разреза литосферы Севера Русской плиты, необходимого для качественной обработки и локализации региональных сейсмических событий, в том числе из Арктики, что является чрезвычайно важным в условиях увеличивающейся в последнее время техногенной нагрузки в виде масштабных

газо- и нефтедобывающих работ на шельфе и техногенной сейсмичности Арктического сектора.

Личный вклад автора. Автором выполнено адаптивное кодирование программ обработки под форматы входных данных с последующей компиляцией программных комплексов. Автором также пройдена вся цепочка исследований от отбора исходных записей до обработки и анализа результатов. Все расчеты по получению P-S приемных функций, инверсии P-функций приемника в скоростной разрез V_s , измерения азимутальной анизотропии верхней мантии были сделаны самостоятельно.

Апробация результатов и публикации.

Работа над диссертацией была связана с выполнением исследований по плановым темам ФНИР Института экологических проблем Севера УрО РАН: «Изучение закономерностей проявления сейсмогеодинамических и эколого-геохимических процессов на Севере Русской плиты» 2011 г., № госрегистрации 0120.0952768.

Тематика также поддержана Программой №4 Президиума РАН, молодежным грантом УрО РАН, госконтрактом Минобразования и науки №14.740.11.0195, грантом РФФИ №11-05-98800-Р-север-а, №10-05-00497-а

Результаты работы были представлены в виде тезисов и устных докладов на российских и международных конференциях: V и VI научных чтениях памяти Ю.П. Булашевича (Екатеринбург 2009, 2011), XI и XII Уральской молодежной научной школе по геофизике (Екатеринбург 2010, Пермь 2011), Международном научно-промышленном симпозиуме «Уральская горная школа – регионам» (Екатеринбург, 2010), Шестой международной сейсмологической школе (Апатиты, 2011), XV Всероссийской конференции «Геологические опасности» (Архангельск, 2009), XVI Международной конференции «Структура, свойства, динамика и минералогия литосферы Восточно-Европейской платформы» (Воронеж, 2010), 5 Международном симпозиуме «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» (Бишкек, 2011).

По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе две главы в монографии в соавторстве, одна статья в журнале, рекомендованном ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения, содержит 174 страницы, в том числе 50 рисунков, 6 таблиц, 3 приложения и библиографический список из 85 источников на русском языке и 38 на английском.

Благодарности. Автор благодарит к.ф.-м.н. В.И. Французову за научное руководство, ценные советы и консультации.

Автор также благодарит зав. лабораторией Г.Н. Антоновскую за всестороннюю поддержку и умение вселить веру в себя; всех своих коллег по лаборатории - за помощь в сборе материалов и плодотворные дискуссии. Автор считает своим приятным долгом поблагодарить д.г.-м.н. ИГф УрО РАН В.С. Дружинина - за ценные советы и замечания; с.н.с. лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН к.т.н. А.Н. Морозова и сотрудника Кольского

филиала Геофизической службы РАН к.ф.-м.н. В.Э. Асминга - за содействие в вычислении регионального годографа.

Автор выражает глубочайшую признательность сотрудникам ИФЗ РАН к.ф.-м.н. С.И. Орешину, к.ф.-м.н. Г.Л. Косареву, к.ф.-м.н. С.Г. Киселеву за помощь в освоении методологии приемных функций, проведении анализа и интерпретации результатов, предоставление комплекса программ обработки, а также за дружескую поддержку и бескорыстное участие.

Автор не может не вспомнить о поддержке работы со стороны ушедшего из жизни чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина.

Защищаемые положения:

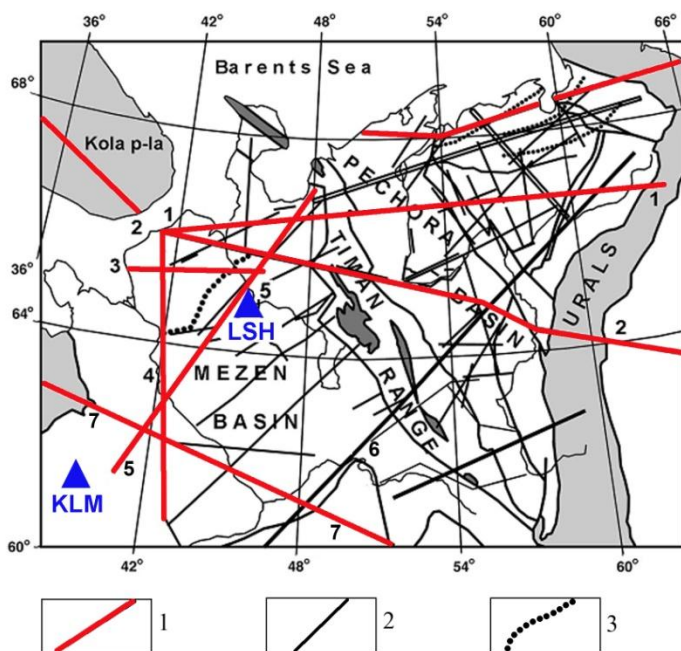
1. Методом приемных функций обменных волн определена структура земной коры и верхней мантии Севера Русской плиты с выделением основных границ обмена: кровли кристаллического фундамента, раздела Мохо, границы Леманн, зоны фазовых переходов в мантии на глубинах 410 км и 660 км. Верхняя мантия характеризуется как высокоскоростная (по отношению к модели IASPEI91), а переходная зона как стандартная.

2. Получена скоростная модель распределения поперечных волн в земной коре Севера Русской плиты, на основе которой рассчитан региональный годограф NORP, позволяющий повысить точность локации эпицентров сейсмических событий на расстояниях до 2000 км.

3. По наблюдениям обменных волн SKS установлено наличие азимутальной анизотропии в верхней мантии под Русской плитой с направлением максимальной скорости сейсмических волн 115 градусов. Выявленная анизотропия отражает современное деформированное состояние мантии под Русской плитой и представлена интегральным эффектом ископаемой анизотропии, сохранившейся от геологического прошлого, и анизотропии, формируемой современным движением плит.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Геолого-геофизическая и тектоническая характеристика района включает в себя краткий обзор региональных глубинных исследований на территории Восточно-Европейской платформы, позволяющих получить представление о геолого-геофизической изученности района исследований, общих чертах геологического строения осадочного чехла, структуре поверхности кристаллического фундамента и тектонических элементов Мезенской синеклизы. Приводится характеристика рельефа поверхности Мохоровичича в пределах Севера Русской плиты. Проанализированы результаты наблюдений сейсмическими (ГСЗ, МОВ, МОГТ) и сейсмологическими (МОВЗ) методами, проведенные ФГУП Центр ГЕОН им. В.В. Федынского (ранее СРГЭ НПО «Нефтегеофизика») (*Строение земной коры, 1987; Шаров Н.В., 2004; Костюченко С.Л., 1995, 1998, 2005*)(рис. 1).



1 - Профили ГСЗ-МОВЗ, выполненные ФГУП Центр ГЕОН : 1- Белое море – Воркута, 2 – Мурманск – Кызыл "Кварц", 3 – Двинская губа – р. Мезень, 4 – р. Вага – Белое море, 5 – "Агат", 6 - Кинешма – Воркута, 7 – Костомукша-Плесецк-Семипалатинск "Рубин";
 2 – профили КМПВ, выполненные ПГО "Печорагеофизика";
 3 – профиль ОГТ, отработанный ФГУП "Спецгеофизика"

Рис. 1 – Схема изученности Севера Русской плиты региональными сейсмическими наблюдениями (на основе Костюченко С.Л., 2005)

Район, рассматриваемый в диссертационной работе и определяемый нами как Север Русской плиты, располагается на северо-западе древней Восточно-Европейской платформы (ВЕП), преимущественно включает *Мезенскую* синеклизу, ограниченную на западе юго-восточным склоном Балтийского щита, на севере и востоке - структурами Канино-Тиманского складчатого пояса. На юге через Сухонскую седловину захватывает северное крыло *Московской* синеклизы.

В строении *Московской* синеклизы участвуют два структурных этажа: нижний - дорифейский кристаллический фундамент, сложенный метаморфизованными и сложнодислоцированными образованиями архея и раннего протерозоя, и верхний - осадочный чехол слабо или почти неметаморфизованных и недислоцированных пологозалегающих пород рифея (фрагментарно), венда, палеозоя, мезозоя и кайнозоя, включая сплошной относительно маломощный покров четвертичных отложений. Общая мощность дочетвертичных образований 1000 – 1300 м, четвертичных – до 170 м. Среди платформенного чехла четко выделяются существенно карбонатная часть (~ 500 м), слагающая верхнюю половину разреза (верхняя пермь – средний карбон), и нижняя (~ 800 м), существенно терригенная, образующая его основание (нижний карбон – венд). Данные о строении фундамента в основном опираются на геофизический материал и, в единичных случаях, на отдельные глубокие скважины, например скв.59 вблизи Коноши.

Мезенская синеклиза относится к числу древнейших синеклиз и в некотором смысле является уникальной, так как аналогов, даже близких, по истории геологического развития и геологическому строению не существует. Большая часть осадочного чехла синеклизы (более 70% его объема) представлена рифейскими и вендскими песчаниками, алевролитами, глинами, мергелями. Значительно меньшую по объему, верхнюю часть осадочного чехла слагают палеозойские, мезозойские и четвертичные осадки. Фундамент

Мезенской синеклизы слагают высокометаморфизованные (преимущественно в амфиболитовой фации) образования дорифейского возраста.

Фундамент Мезенской синеклизы минимальными глубинами залегания характеризуется на западе территории, в прибрежной ее части. Здесь абсолютные отметки поверхности фундамента составляют от -0,5 до -1,5...-2,0 км (в осевых зонах некоторых грабенов они превышают -4,0 км). Наибольшие глубины залегания фундамента зафиксированы в центре синеклизы, в междуречье Мезени и Пинеги, и в ее северо-восточной части, на побережье Чешской губы, где абсолютные отметки поверхности фундамента превышают -6,0...-8,0 км, возможно, -10,0 км (*Результаты региональных...*, 2004). Структурный рисунок поверхности кристаллического фундамента Мезенской синеклизы, занимающей перикратонную часть Русской плиты, характеризуется следующими особенностями: тектонической зональностью преобладающе СЗ-ЮВ-ного направления ($110-120^{\circ}$); наличием сложной системы сопряженных структур положительного (горсты и выступы) и отрицательного (грабены) знака, контролируемых глубинными разломами, которые придают поверхности кристаллического фундамента своеобразный клавишный вид; различиями в строении северной и южной частей синеклизы, границей между которыми служит Лешуконский грабен; большим количеством разрывных нарушений, осложняющих поверхность кристаллического фундамента; смещением зон наиболее глубокого залегания пород фундамента в восточную и южную части синеклизы.

Основной особенностью консолидированной коры и верхней мантии является ее слоисто-блоковое строение. Блоки характеризуются изменением свойств пород и особенностями распределения коэффициентов поглощения и добротности. Изображение рельефа поверхности Мохоровичича отличается меньшей детальностью, чем таковая для поверхности фундамента. Характеризуется размахом глубин от 30 до 49 и более километров. На северо-западе выделяется широтная зона с минимальными отметками 30 км, простирающаяся в область Кольского блока. Установлено, что в пределах профилей Кварц и Рубин раздел Мохо имеет сложный характер и включает серию отдельных поверхностей, совместно образующих зону мощностью 4-5 км, к тому же эта поверхность не является непрерывной часто даже в пределах одного профиля. Результаты вдоль профилей ГСЗ показывают, что для северных районов Восточно-Европейской платформы, в пределах юго-восточного Беломорья и Мезенской синеклизы, характерно развитие в основном двух разновидностей глубинных структур – в виде желоба и перевернутых конусообразных блоков. Структуры первого типа характеризуются максимальным погружением фундамента до 4 - 8 км, валлообразными поднятиями поверхности М и значительным сокращением мощности коры, при скоростях в верхах мантии 8.3 – 8.6 км/с. Для структур второго типа в виде блоков характерны приподнятая поверхность фундамента до 2 км, погружение границы Мохо до 38 – 42 км при средних плотностных параметрах коры.

Глава 2. Методологические основы применяемого метода обменных волн включает в себя краткий обзор современных сейсмологических методов изучения глубинного строения земных недр, таких как глубинное сейсмическое зондирование (ГСЗ), поверхностно-лучевая (Яновская Т.Б., Якобсон А.Н., Королева Т.Ю., Сабитова Т.М., Соловей О.А., Ritzwoller M.H., Montagner J.P.) и трансмиссионная (Цветкова Т.А., Шумлянская Л.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н) томография, метод обменных волн землетрясений (МОВЗ), их достоинства, недостатки, возможность реализации в условиях Севера и при имеющейся технической оснащенности Архангельской сейсмической сети. С/с KLM оснащена стационарной цифровой аппаратурой типа SDAS отечественной разработки НПП “Геотех+”, сейсмометрами СМЗ-КВ и СМЗ-ОС с частотным диапазоном регистрации последних 0.02-20Гц. На с/с LSH используется цифровое оборудование зарубежного производства – регистраторы типа GSR-24 (производства GeoSIG-LTD, Швейцария) и датчики CMG-3ESP (производства фирмы Güralp Systems Limited, Англия) с диапазоном регистрации 0.033 – 20Гц.

В работе для исследования скоростной структуры применяется метод функций приемника *P- S-receiver functions* (Vinnik L.P., 1977; Langston, 1979), основанный на использовании обменных волн P_s и S_p от телесеизмических землетрясений. Аргументами в пользу выбора данной методологии является следующее:

- *объемные* волны имеют предпочтительное значение перед поверхностными, поскольку частотный диапазон сейсмической аппаратуры с/с KLM и LSH не обеспечивает регистрацию длиннопериодных поверхностных волн в широком диапазоне частот, что не позволяет строить дисперсионные кривые для большого набора периодов
- выбранный тип используемых волн (рефрагированные от сильных далеких землетрясений) обеспечивает проникновение сейсмических лучей до глубин 800 км и позволяет определять структуру геологической среды с выделением границ обмена в земной коре и верхней мантии
- техника приемных функций является эффективным инструментом обработки цифровых записей, позволяет получать сведения о структуре земной коры и верхней мантии, используя данные *одиночных* сейсмостанций в случае, если нет плотной сети станций.

Исходными данными являются записи 113 землетрясений, очаги которых расположены на эпицентральных расстояниях от 35 до 90 градусов, с магнитудой 5.6 – 7.4, глубиной 10 – 639 км и азимутальных направлений 0 – 350 градусов. Параметры отобранных землетрясений опубликованы в оперативном сейсмологическом каталоге Геофизической Службы РАН и предоставляются на официальном сайте www.ceme.gsras.ru. Все отобранные для обработки записи имеют четкое вступление Р импульсного характера, с большим превышением амплитуды первого вступления над предваряющим шумом, как минимум в 3 раза. Исходная трехкомпонентная запись события проходит ряд процедур (Бурмаков Ю.А. и др., 1988). На первом этапе осуществляется частотная фильтрация как высоких (более 1 Гц), так и низких

(менее 0.1 Гц) частот для устранения влияния эффектов рассеяния и улучшения разрешающей способности. Далее осуществляется преобразование исходной системы координат Z, N, E в систему координат L, Q, T, где ось L соответствует направлению поляризации P-волны, ось Q перпендикулярна оси L в плоскости источник-приемник, направлена вдоль смещений в искомой нами обменной Ps (SV) волне, T-тангенциальная, перпендикулярная оси Q, расположенная в горизонтальной плоскости. Математически это преобразование состоит в нахождении собственных векторов ковариационной матрицы, полученной при вычислении ковариаций вертикальной и радиальной компонент. Важнейшим этапом обработки является стандартизация компонент деконволюционным фильтром для устранения различий в очаговых процессах и магнитудах у разных землетрясений. Стандартизованная Q-компонента и называется, собственно, приемной функцией, поскольку она освобождена от влияния источника и является только функцией приемника. Последней операцией обработки является суммирование стандартизованных Q-компонент всех землетрясений с целью накопления сигнала, подавления шума и выделения обменных волн, связанных с различными границами в коре и мантии. Суммирование производится для различных пробных глубин, со сдвигами во времени относительно некоторого опорного эпицентрального расстояния, которое принимается равным 67 градусам, что соответствует медленности 6.4 сек/град. Результатом суммирования является так называемый СТЕК (рис. 2), в котором выявляются границы обмена в коре и мантии (показаны стрелками): граница фундамент-осадки, раздел Мохо, верхняя и нижняя границы зоны фазовых переходов в мантии на глубинах 410 км и 660 км.

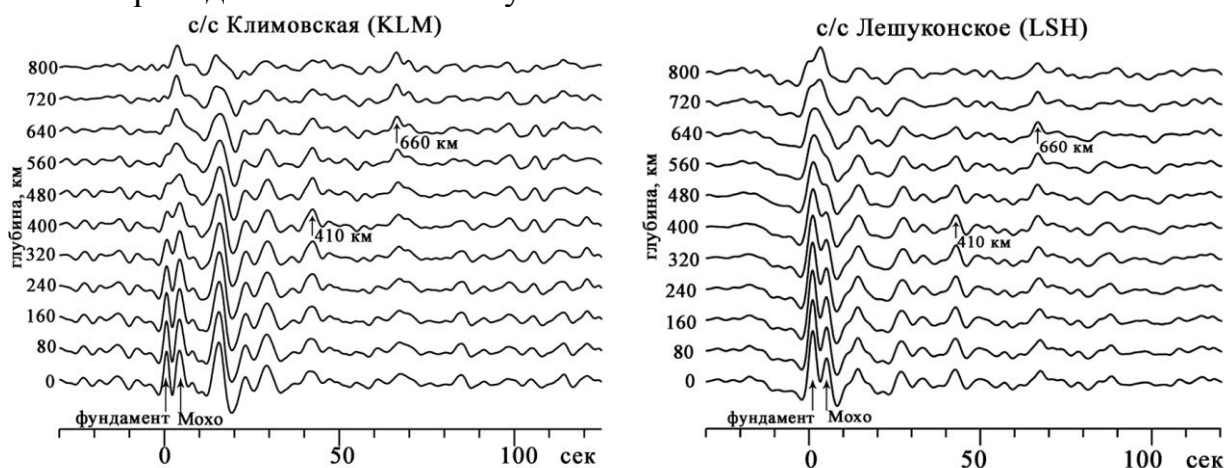


Рис. 2 - СТЕК – результат суммирования обменных Ps волн для множества очагов землетрясений. По горизонтали – время задержки обменной волны относительно продольной, по вертикали – глубина “просвечивания”

В таблице 1 приведены сводные данные по временам запаздывания с/с Климовская, Лешуконское, а также группы SVEKALAPKO в южной Финляндии (Kozlovskaya E. et al, 2008), в сравнении со стандартной моделью IASPEI91. Согласно приведенной таблице, времена задержек обменной волны относительно продольной от границ переходной зоны мантии, полученные по данным станций KLM (42.4 сек и 66.5 сек) и LSH (42.6 сек и 66.7 сек)

практически совпадают с аналогичными для южной Финляндии, полученными по наблюдениям группы SVEKALAPKO (42.3 сек и 66.2 сек), расхождение составляет не более 0.5 сек. Это указывает на то, что скорости S-волн в верхней мантии под KLM и LSH близки к скоростям под Балтийским щитом. Но при сравнении их же с моделью IASPEI91, можно отметить, что экспериментальные времена задержек обменных волн *существенно меньше модельных* на 1.4 – 1.7 сек, поскольку в модели IASPEI91 эти времена принято считать $t(410 \text{ км})=44.0 \text{ сек}$, $t(660 \text{ км})=67.9 \text{ сек}$, и это свидетельствует о повышенных скоростях поперечных волн в верхней мантии.

Таблица 1 – Времена задержки t_{ps} обменной волны относительно продольной от различных границ в коре и мантии по данным станций Климовская, Лешуконское, группы SVEKALAPKO в сравнении с моделью IASPEI91

Объект исследования	Время запаздывания t_{ps} , сек				
	фундамент	Мохо	410 км	660 км	$t(660) - t(410)$
С/с Климовская (KLM)	0.6	4.3	42.4	66.5	24.1
С/с Лешуконское (LSH)	1.1	5.2	42.6	66.7	24.1
Группа SVEKALAPKO		~ 6.0	42.3	66.2	23.9
Модель IASPEI91		4.9	44.0	67.9	23.9

Второй задачей являлось получение функций приемника обменных волн S_p методом SRF (*S-receiver functions*). На суммированных сейсмограммах (рис. 3) обменная волна S_p от границы Мохо выделяется как яркий импульс с отрицательной полярностью, опережающий начало отсчета на 4.3 сек. (обозначено стрелкой). Другая фаза наблюдается на времени опережения 52 сек, образованная на верхней границе зоны фазовых переходов 410 км.

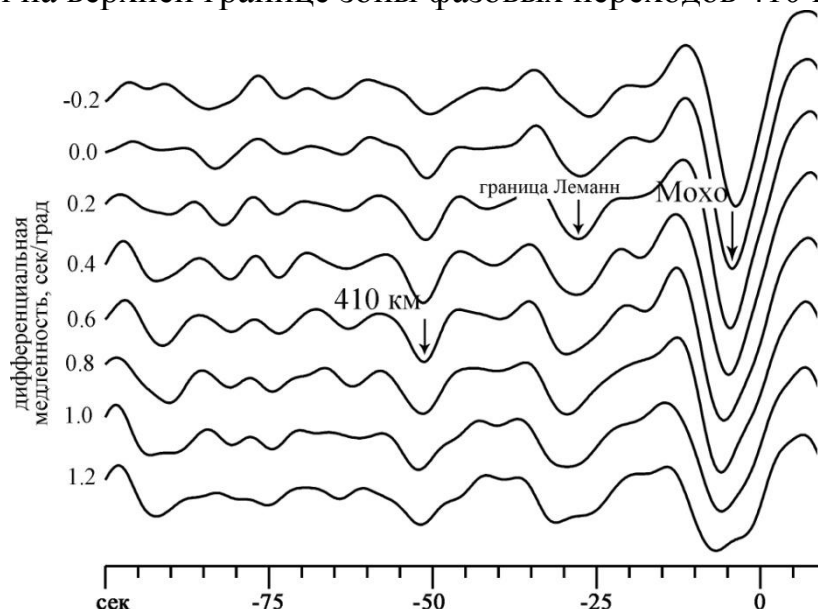


Рис. 3 – Суммированные S_p -приемные функции

Наличие еще одного сигнала на временах вблизи 28 сек. предположительно может быть связано с обходами на границе Леманн, на которой понижается скорость прохождения волн из-за фазового перехода, изменения пластичности астеносферы или отклонения колебаний волны сдвига

(*Lehmann I., 1961*). Её природа важна для понимания строения верхней мантии и мантийных потоков. В ряде работ (*Gaherty J.B., 1995*) сейсмическая граница Леманн на глубине около 200 км обычно объясняется контактом изотропной и анизотропной сред с одинаковым химическим и фазовым составом. Однако, в работах Винника Л.П. (*Винник Л.П., 2005*) сделано заключение, что сейсмическая анизотропия играет в образовании границы Леманн незначительную роль, и свойства этой границы, по-видимому, объясняются наличием низкоскоростного слоя выше 200 км. Обнаружение этой границы по данным с/с KLM стало возможным в силу того, что Sp волны от границ в пределах 200-300 км, в отличие от Ps, свободны от многократных отражений в коре. Это является одним из главных преимуществ метода SRF в обнаружении глубоких границ обмена.

Результаты исследований, описанных во второй главе, обосновывают первое защищаемое положение. Выводы ко второй главе приведены в заключении.

Глава 3. Определение скоростной структуры земной коры и подкоровой литосферы. В данной главе приводятся описания двух способов решения обратной задачи и обращения приемных функций обменных волн в скоростной разрез. Первый алгоритм (*Тихонов А.Н. и др., 1979; Гласко В.Б., 1984; Аки К., 1983*) применяется для инверсии Р-функций приемника в скоростной разрез Vs до глубины 52 км. Стартовая модель задана слоями, лежащими на полупространстве, в которой параметрами *m* являются скорости продольных и поперечных волн, плотности, мощности слоев, отношение Vp/Vs задано значениями 1.732 в коре и 1.8 в мантии, плотность определялась по формуле Берча (*Birch F., 1961*). Теоретические сейсмограммы рассчитывались методом Томсона-Хаскелла (*Haskell N.A., 1962*). Расчеты были произведены по программе *bir_sta*, разработанной Г.Л. Косаревым (*Kosarev G.L. et al, 1987*).

KLM. Территориально станция KLM расположена в пределах северного крыла *Московской* синеклизы и полученная скоростная модель носит черты, характерные для осадочных бассейнов платформенного типа (рис. 4 слева).

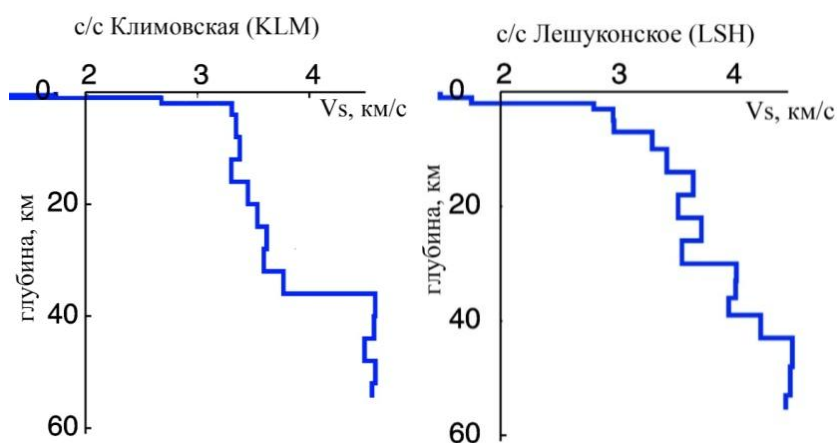


Рис. 4 – скоростные разрезы Vs, полученные путем инверсии Р-функций приемника (*Французова В.И. и др., 2011*)

В частности, в разрезе четко выделяются две границы. Верхняя, со скоростью Vs=3.3 км/с отождествляется нами с кровлей кристаллического фундамента, нижняя с Vs=4.59 км/с - с границей Мохо. Верхний слой мощностью 2 км,

представленный осадочным чехлом, сложенным преимущественно образованиями венда, палеозоя и четвертичными отложениями ледникового-межледникового генезиса, характеризуется скоростями поперечных волн $V_s=2.67-3.3$ км/с. В консолидированной коре на фоне общего увеличения скорости с глубиной, в интервале глубин 12 – 16 км наблюдается слой пониженных скоростей, возможно, соответствующий волноводу, что согласуется с данными работы (Юдахин Ф.Н. и др, 2003). Граница Мохо на глубине 36 км определяется скоростным контрастом между вышележащим и нижележащим слоями со скоростями соответственно $V_s=3.76$ км/с и $V_s=4.5$ км/с.

LSH. Скоростной разрез под с/с LSH (рис. 4 справа) определяется особенностями строения *Мезенской* синеклизы. В районе Лешуконского прогиба наблюдается понижение глубины залегания кровли фундамента до 3–5 км, со скоростью на границе $V_s=2.98$ км/с. Граница Мохо на разрезе представляет собой коромантийный слой на глубинах 39 – 42 км со скоростью в мантии $V_s=4.53$ км/с. Отмечается слой на глубинах 14 - 18 км с повышенной скоростью $V_s=3.67$ км/с, который, согласно данным работы (Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., 2004), возможно, представляет остатки синхронных магматических очагов с преобладанием пород ультраосновного состава. Это находит подтверждение в разрезе по профилю ГСЗ № 3 «Двинская губа-Мезень», проходящего в пределах Лешуконского грабена вблизи с/с LSH. Проведено также сопоставление с имеющимися сведениями по изучению строения земной коры и мантии методами ГСЗ, МОВЗ, КМПВ, МОВ-ОГТ, взятых из разных литературных источников (Егоркин А.В., 1987, 2000; Барковский А.Н., 1969; Костюченко С.Л., 1995; Губайдуллин М.Г., 2001; Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., 2004), которое показывает хорошую сходимость результатов.

Второй способ построения скоростного разреза основан на совместном использовании в качестве входных данных функций приемника обменных волн P_s и S_p , что позволяет получить распределение скоростей V_p , V_s , V_p/V_s в земной коре и верхней мантии до глубины 100 км (рис. 5). Оптимальная модель определяется путем нахождения глобального минимума целевой функции, минимизация осуществляется способом «simulated annealing» (Mosegaard K., Vestergaard P.D., 1991), входящим в группу методов Монте-Карло.

В разрезе выделяются четкие скоростные границы, соответствующие кристаллическому фундаменту и разделу М кора-мантия. Граница Мохо хорошо разрешена на глубине 36 км, что подтверждает результат, полученный выше только по волнам P_s . В интервале глубин 11 – 18 км выделяется слой пониженных значений скоростей V_p и V_s , также выделяемый ранее по инверсии волн P_s .

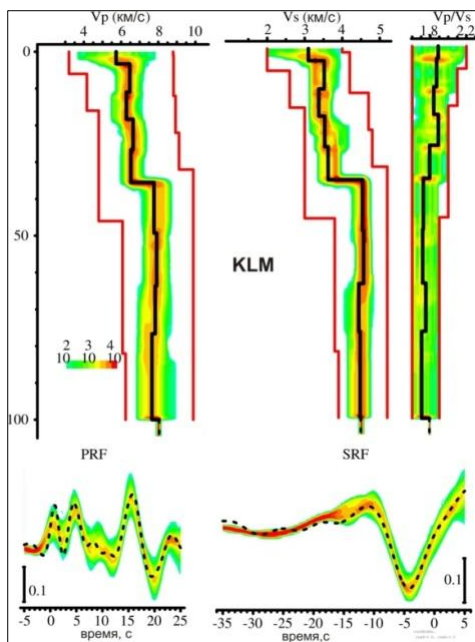
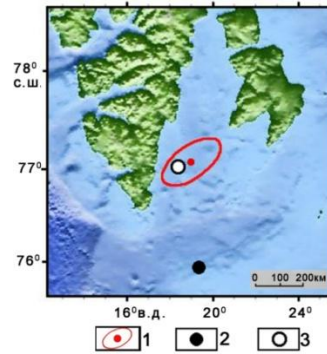
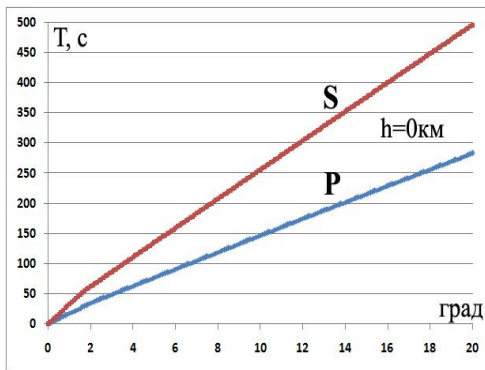


Рис. 5 – Скорости продольных волн (V_p), поперечных волн (V_s) и их отношения (V_p/V_s) в районе с/с KLM. Цветом показано распределение вероятности значений скоростей. Красными линиями показаны области поиска; сплошными черными линиями — наиболее вероятные значения скоростей. Внизу показаны распределения вероятности значений приемных функций продольных волн (слева) и поперечных волн (справа); реальные значения приемных функций показаны пунктиром

Результаты исследований, описанных в третьей главе, обосновывают второе защищаемое положение. Выводы к третьей главе приведены в заключении.

Глава 4. Построение регионального годографа для Севера Русской плиты на основе скоростного разреза, полученного по приемным функциям обменных волн. Представлены результаты вычисления годографов сейсмических волн P и S для региональных эпицентральных расстояний от 2 до 20 градусов. Годографы были вычислены на основе сейсмического материала, полученного по данным станций Архангельской сети.

Как известно, одним из важных этапов обработки материалов сейсмологических наблюдений является оценка местоположения эпицентров сейсмических событий. На небольших эпицентральных расстояниях большую роль играют региональные геологические особенности территории. Поэтому при использовании стандартных глобальных годографов Джеффриса-Буллена и IASPEI91, в усредненном виде описывающих кинематику волн в масштабе всего земного шара, получаемые кинематические характеристики сейсмических фаз, а также координаты эпицентров имеют большую погрешность, в связи с чем, снижается их научная значимость (Ваганова Н.В., Конечная Я.В., 2010; Юдахин Ф.Н. и др., 2010). В этой связи, чрезвычайно важным является вопрос о необходимости вычисления годографа для Севера Русской плиты. В качестве скоростной модели при расчете годографа использовалась модель, полученная по обменным волнам и описанная в главе 3. Вычисление непосредственно годографа производилось с помощью лучевого метода по программе к.ф.-м.н. В.Э. Асминга из Кольского филиала Геофизической службы РАН (Kremenetskaya E., 2001). Полученный региональный годограф получил название “NORP” (the North of Russian Plate) (рис. 6).



1 - координаты и эллипс ошибок по оперативному сейсмологическому каталогу ГС РАН (77.05° с.ш., 18.53° в.д.); 2 - координаты, полученные с помощью годографа IASPEI91 (75.98° с.ш., 19.23° в.д.); 3 - координаты, полученные с помощью годографа NORP (77.00° с.ш., 18.41° в.д.)

Рис. 6 – Региональный годограф NORP (слева) и сопоставление положения эпицентров, полученных разными способами землетрясения 21.02.2008, $t_0=02:46:15.9$, $M=5.9$ (справа) (Морозов А.Н., Ваганова Н.В., 2011)

Проверка эффективности годографа NORP осуществлялась статистически, путем сравнения его с годографом IASPEI91. Для этого были проанализированы сейсмические записи 28 региональных землетрясений. Максимальный разброс величины $\delta\Delta^{\circ}$ (ошибки в определении расстояния станция – эпицентр) для NORP не превышает 0.5° , за исключением редких событий. В то время как, при использовании IASPEI91 разброс $\delta\Delta^{\circ}$ достигает 1.5° .

Результаты исследований, описанных в четвертой главе, обосновывают второе защищаемое положение. Выводы к четвертой главе приведены в заключении.

Глава 5. Азимутальная анизотропия верхней мантии под сейсмической станцией «Климовская». Для исследования вопроса о деформированном состоянии верхней мантии Севера Русской плиты в работе используются сейсмологические оценки азимутальной анизотропии. В настоящей главе рассматривается наиболее надежный и легкорезализуемый метод измерения азимутальной анизотропии по наблюдениям обменных волн SKS и сходных фаз в низкочастотном диапазоне. Фактором, доминирующим при возникновении сейсмической анизотропии в верхней мантии, является упорядоченная ориентация главных осей анизотропных кристаллов мантийного оливина в условиях высоких температур и в присутствии длительных напряжений, связанных с движением плит и конвекционными потоками в мантии. В результате, среда в большом объеме мантии приобретает новый тип симметрии, называемый поперечно-изотропный с горизонтальной осью симметрии или гексагональный (Чесноков Е.М., 1977). Впервые выполненные в нашей стране (Винник Л.П., Косарев Г.Л., Макеева Л.И., 1984, 1988), оценки азимутальной анизотропии в настоящее время являются рутинной процедурой в многочисленных сейсмологических исследованиях. Метод измерения азимутальной анизотропии основан на явлении расщепления поперечной волны SKS в анизотропной среде на две квазипоперечные волны S1 и S2,

распространяющиеся с различной скоростью. При расщеплении поляризация волн S_1 и S_2 не зависит от направления распространения волны SKS и определяется только симметрическими свойствами среды. Быстрая волна S_1 поляризована в направлении, близком к оси симметрии среды, медленная волна S_2 – в направлении почти перпендикулярном направлению поляризации волны S_1 . На севере Русской плиты из-за отсутствия широкополосных сейсмических станций такие измерения ранее не проводились. В диссертационной работе представлены первые измерения азимутальной анизотропии на станции Климовская (KLM). Исходными данными являются трехкомпонентные цифровые широкополосные записи землетрясений с эпицентральных расстояний от 90 до 145 градусов, которые были обработаны с помощью алгоритма (Vinnik L.P., Farra V., Romanovich B., 1990). Суть метода заключается в следующем: исходные горизонтальные компоненты N, E преобразуются в радиальную R и тангенциальную T компоненты. На этих компонентах наблюдаются суммарные записи проекций расщепленных волн S_1 и S_2 . Поскольку медленная волна S_2 запаздывает относительно быстрой S_1 , движение частиц в волне SKS на компонентах R и T приобретает эллиптическую поляризацию. В результате на R и T компонентах наблюдаются фазовые сдвиги (рис. 7). Этот факт является главным диагностическим признаком обнаружения азимутальной анизотропии мантии.

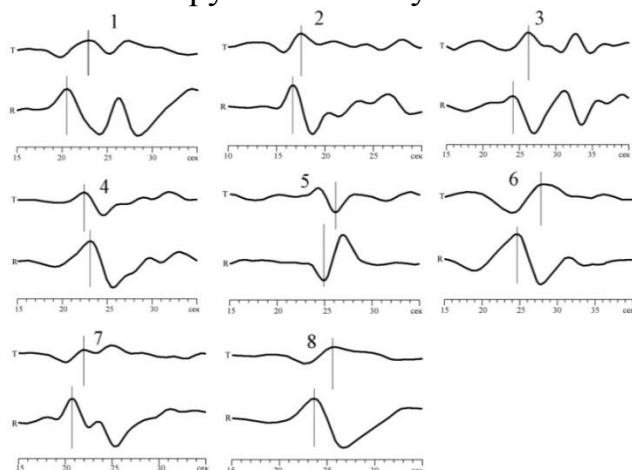


Рис. 7 – Пример R и T компонент для 8-ми землетрясений с разных азимутальных направлений (Ваганова Н.В. и др., 2011)

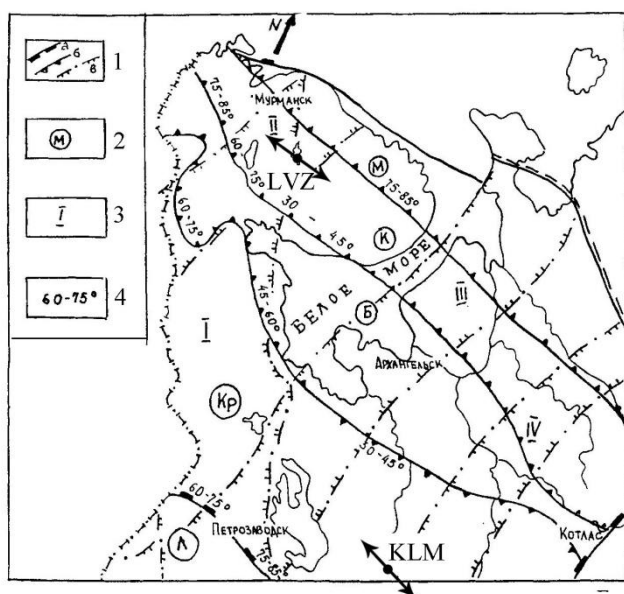
Основной целью алгоритма является оценка параметров α (азимута направления быстрой квазипоперечной волны) и δt (разности времен пробега двух квазипоперечных волн). Нахождение оценок α и δt основано на построении целевой функции, являющейся нормализованным среднеквадратическим отклонением между реальной и синтетической тангенциальными компонентами. Целевая функция вычисляется при разных пробных значениях α от 0 до 180° и δt от 0 до 2 сек. Значения α и δt , при которых достигается минимум целевой функции, принимаются за итоговые оценки параметров. Для с/с KLM $\alpha=115^\circ$, $\delta t=0.6$ сек. В работе (Кашубин С.Н., 2001) приводятся результаты многоволнового сейсмического эксперимента АСТРА, по комплексу отраженных, рефрагированных и головных P- и S-волн, поставленный на Воронежском кристаллическом массиве, где указано

направление максимальных скоростей сейсмических волн для верхней мантии 112° . Это направление по продольным волнам практически совпадает с направлением, полученным по расщеплению волны SKS под с/с KLM.

Дополнительно были найдены параметры анизотропии для станций Арти (ARU), Ловозеро (LVZ), Обнинск (OBN), расположенных на сопредельных с Архангельской областью территориях. Для них азимутальный угол α и время задержки δt соответственно равны 100° и 0.6 сек, 105° и 0.8 сек, 105° и 0.4 сек.

Близкие значения параметров для указанных станций свидетельствуют о проявлениях сходных анизотропных свойств на больших территориях и говорят о глобальном характере выявленной анизотропии. Разность времен пробега двух квазипоперечных волн определяется мощностью анизотропного слоя и соответствует мощности 150 – 200 км. Все это дает автору основание утверждать, что обнаруженная азимутальная анизотропия связана с глубокими мантийными слоями, а не с коровыми эффектами и латеральными неоднородностями.

Можно рассматривать два варианта объяснения результатов наблюдений. В первом случае можно полагать, что анизотропия заморожена в подкоровой литосфере со времени последнего эпизода тектонической активности. В тектонической истории разрывных нарушений Севера Русской плиты отмечаются от четырех до десяти этапов активизации, протекавших в разное время в различных геотектонических режимах. В общем можно считать, что становление подкоровой литосферы и континентальной коры, слагающей северные окраины Русской плиты, закончилось к началу раннего протерозоя и на долю последнего приходится лишь переработка этой коры. В качестве аргумента можно привести тот факт, что на тектонических картах Северной Евразии и, в частности, Мезенской синеклизы, расположены закономерно чередующиеся структуры, практически параллельно друг другу и характеризуются преобладающей тектонической зональностью северо-западно – юго-восточного направления (разломы, складки, линеаменты или границы блоков) (рис. 8).

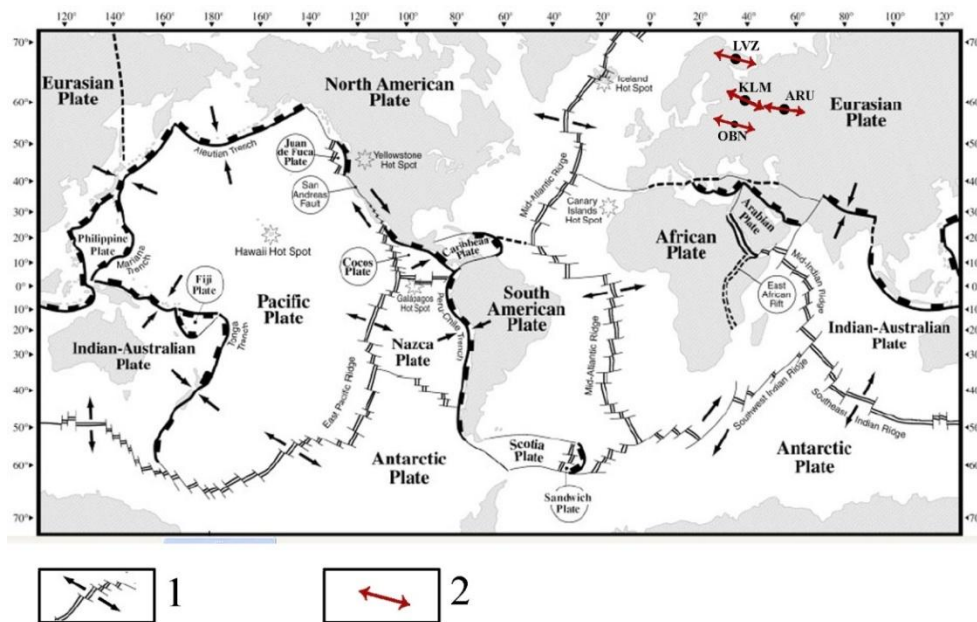


1 – разломы, ограничивающие: а – геоблоки, б – мегаблоки, в – трансблоковые зоны; 2 – основные мегаблоки и их индексы: М – Мурманский, К – Кольский, Б – Беломорский, Кр – Карельский; 3 – трансблоковые зоны: I – Ладожско-Баренцевоморская, II – Хибинская, III – Балтийско-Мезенская, IV – Вельско-Цильменская; 4 – расчетные углы падения граничных поверхностей разломов (Билибина, 1986)

Рис. 8 – Схема разломно-блоковой тектоники Восточно-Европейской платформы (на основе Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., 2001). Стрелками указано направление азимутальной анизотропии

Различают три главных структурных элемента-блока, имеющих СЗ – ЮВ-ное простирание от Балтийского щита и продолжающихся с этим простиранием под чехол Мезенской синеклизы. Это блоки (террейны): Мурманский, Центрально-Кольский и Лапландско-Беломорский (*Объяснительная записка к тектонической карте Баренцева моря, 1996; Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., 2001*). Все три блока были образованы в основном позднеархейскими образованиями, с возрастом не более 3.0 млрд. лет, в той или иной степени подвергшимися переработке в раннем протерозое. Судя по тому, что направление анизотропии на с/с KLM практически совпадает с простиранием глубинных разломов, одной из причин анизотропии могут быть глубокие тектонические коллизии докембрия.

Во втором случае интерпретация состоит в том, что крупномасштабная составляющая наблюдений анизотропии на платформах связана с недавними или современными мантийными течениями и, как следствие, с перемещениями литосферных плит относительно подстилающей мантии (*Vinnik L.P., Makeyeva L.I., 1992; Vinnik, L. P., Green R. W. E, 1995; Винник, 1998*). Была сделана попытка сопоставления ориентации векторов азимутальной анизотропии с направлением абсолютного движения плиты. На рис. 9 изображена карта с некоторыми станциями, по данным которых измерялась азимутальная анизотропия. Станции расположены на территории, находящейся вне зоны современной тектонической активности. Очевидно, что азимуты быстрой оси выравниваются близко к направлениям абсолютного движения Евразийской плиты.



1 - векторы абсолютных движений литосферных плит; 2 – направления азимутальной анизотропии

Рис. 9 – Карта ориентации азимутальной анизотропии и направления абсолютного движения плит

Говоря о движении плит и вызывающих его механизмах, следует принять во внимание сложность проблемы. Для Евразийской плиты конвекция в мантии является самым общим и первичным фактором. Однако пока точно не

сформулированы условия, при которых верхний пограничный слой конвективной ячейки сцеплен с литосферой и тащит ее, а при каких течение в мантии происходит как бы под жесткой неподвижной крышкой. Как реализуется связь мантийных конвективных течений с перемещением плывущей на них литосферы, пока не ясно. Вторым фактором - раздвижение литосферных плит внедряющимся в рифтовые зоны материками астеносферы, связан с формированием конструктивных границ плит. Гравитационное сползание плит со срединно-океанического хребта А. Кокс и Р. Харт (1989) считают одним из главных кандидатов на роль движущей силы тектоники плит. Они называют эту силой «отталкивания от хребта», но не приводят каких-либо оценок.

Здесь стоит уточнить, что исследования по обнаружению анизотропных свойств в верхней мантии Русской плиты крайне малочисленны. Данная работа, основанная на современных цифровых записях, является практически пионерской в этом направлении. И вопрос о точном происхождении анизотропии, обнаруживаемой методом SKS, конечно требует дальнейшего специального рассмотрения. На данном этапе автор придерживается мнения, что это интегральный эффект ископаемой анизотропии, сохранившейся от геологического прошлого, и анизотропии, формируемой современным движением плит.

Таким образом, сейсмическая анизотропия является полезной диагностической единицей для понимания эволюции земной коры и верхней мантии, так как она несет отпечатки прошлой и настоящей деформации в недрах Земли. Критерием обнаружения анизотропии по расщеплению волн SKS является наличие при вычислениях одновременно трех признаков: колебаний на тангенциальной компоненте, фазового сдвига между радиальной и тангенциальной компонентами, временная задержка медленной квазипоперечной волны относительно быстрой.

Результаты исследований, описанных в пятой главе, обосновывают третье защищаемое положение. Выводы к пятой главе приведены в заключении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты выполненной работы и выводы состоят в следующем,
по второй главе:

1. По записям обменных волн 113-ти телесеismicических землетрясений методом P-S приемных функций определена структура земной коры и верхней мантии Севера Русской плиты с выделением основных границ обмена соответственно для с/с KLM и с/с LSH: кровли кристаллического фундамента с временем задержки обменной волны относительно продольной 0.6 сек и 1.1 сек; раздела Мохо с временами задержки 4.3 сек и 5.2 сек, границы Леманн с временем опережения 28 сек, зоны фазовых переходов в мантии на глубинах 410 км и 660 км с временами 42.4 сек и 66.5 сек для KLM, и 42.6 сек и 66.7 сек для LSH.

2. Сопоставление экспериментально полученных времен задержек с модельными значениями IASPEI91 показывает, что скорости S-волн, как в районе станций KLM и LSH, так и в южной части Балтийского щита, на глубинах, меньших 410 км, выше стандартных. Верхняя мантия, подстилающая Север Русской плиты является высокоскоростной. Выводы о повышенных скоростях верхней мантии северных районов Восточно-Европейской платформы подтверждаются многочисленными исследованиями методами классической лучевой томографии (Цветкова Т.А. и др, 2007, 2009).
 3. Зона фазовых переходов в мантии в интервале глубин от 410 до 660 км не имеет аномальных значений скоростей поперечных волн, то есть переходная зона мантии под Русской плитой является стандартной.
- Выводы 1 – 3 обосновывают первое защищаемое положение.

по третьей главе:

4. По записям обменных волн Ps и Sp от телесеismicических землетрясений построены скоростные разрезы Vs земной коры до глубины 52 км и разрезы Vp, Vs, Vp/Vs до глубины 100 км. Достоверными чертами полученных моделей являются наличие резких границ от поверхности кристаллического фундамента и раздела Мохо, слоев повышенной и пониженной скорости, положение которых хорошо коррелируется с описанными в литературе результатами ГСЗ, МОВЗ, КМПВ, МОВ-ОГТ. Таким образом, показана работоспособность и эффективность метода P-S- приемных функций обменных волн для изучения структуры земной коры и мантии на платформенных территориях.

по четвертой главе:

5. По скоростному разрезу, вычисленному по обменным волнам методом *receiver functions*, был получен годограф NORP первых вступлений волн P и S для региональных расстояний. Проверка эффективности показала, что с помощью вычисленного годографа удастся повысить точность локации сейсмических событий в диапазоне эпицентральных расстояний от 2 до 20 градусов.

Выводы 4 – 5 обосновывают второе защищаемое положение.

по пятой главе:

6. По данным с/с KLM на Севере Русской плиты выявлено наличие азимутальной анизотропии мантии с направлением 115 градусов и величиной анизотропии $\delta t=0.6$ сек. Данное направление соответствует направлению максимальной скорости сейсмических волн. В перпендикулярном направлении скорости волн минимальны. Полученные задержки времени близки к общей средней величине для континентальных районов (~1с) и соответствуют мощности анизотропного слоя порядка 150 - 200 км.

7. Вектора азимутальной анизотропии по данным станций Климовская (KLM), Арти (ARU), Ловозеро (LVZ), Обнинск (OBN), ориентированы в направлении, близком к направлению движения Евразийской литосферной плиты.
 8. Выявленная анизотропия отражает современное деформированное состояние мантии под Русской плитой и представлена интегральным эффектом ископаемой анизотропии, сохранившейся от геологического прошлого, и анизотропии, формируемой современным движением плит.
- Выводы 6 – 8 обосновывают третье защищаемое положение.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи, опубликованные в рецензируемом журнале, входящем в перечень ВАК РФ

1. Французова В.И., Ваганова Н.В., Юдахин Ф.Н., Винник Л.П., Косарев Г.Л., Орешин С.И. Строение литосферы по данным обменных волн под сейсмостанцией Климовская // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. 2011, № 1. С. 176 – 183.
2. Морозов А.Н., Ваганова Н.В. Годографы сейсмических волн для Севера Русской плиты по данным Архангельской сейсмической сети // Разведка и охрана недр. 2011, №12. С. 48 – 51.

Статьи, опубликованные в других журналах, научных сборниках и материалах конференций

3. Ваганова Н.В. Некоторые результаты участия Архангельской сети в глобальном сейсмическом мониторинге // Уральский геофизический вестник. – Екатеринбург, 2007, №2. С. 30 – 34.
4. Ваганова Н.В. Некоторые результаты участия Архангельской сети в глобальном сейсмическом мониторинге // Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: Четвертые научные чтения памяти Ю. П. Булашевича. Материалы конференции. – Екатеринбург, 2007. С. 31 – 34.
5. Конечная Я.В., Ваганова Н.В. Опыт обработки землетрясений Арктического региона Архангельской сетью сейсмических станций // Десятая уральская молодежная научная школа по геофизике: сборник науч. материалов. – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2009. С. 109-114.
6. Французова В.И., Конечная Я.В., Ваганова Н.В. Результаты сейсмомониторинга, проводимого Архангельской сетью станций // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2009. С. 205-211.
7. Ваганова Н.В., Косарев Г.Л., Орешин С.И., Французова В.И., Юдахин Ф.Н., Винник Л.П. Первый опыт применения метода приемных функций для изучения строения литосферы Севера Русской плиты // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Пятое научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы. - Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2009. С. 60 – 64.
8. Ваганова Н.В., Юдахин Ф.Н., Винник Л.П., Французова В.И., Косарев Г.Л., Орешин С.И. Предварительные результаты изучения глубинного строения участка юго-запада Русской плиты методом приемных функций // Геологические опасности: Материалы XV Всероссийской конференции с международным участием / Отв. ред. чл.-корр. РАН Ф.Н.Юдахин. – Архангельск, ИЭПС УрО РАН, 2009. С. 112-115.
9. Ваганова Н.В. Телесеismicкие объемные волны в изучении строения коры и мантии под одиночной станцией. XI Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник докладов.-Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2010. С. 40 – 42.

10. Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Конечная Я.В., Иванова Е.В. Анализ волновых полей техногенных катастроф на территории г.Архангельска. XI Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник докладов.-Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2010. Эл.вариант.

11. Ваганова Н.В. Исследование коры и верхней мантии Севера Русской плиты по данным Архангельской сейсмической сети. Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам». Сборник докладов - Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. С. 61 – 63.

12. Юдахин Ф.Н., Французова В.И., Ваганова Н.В. Проблемы сейсмомониторинга Арктического сегмента СЛО и прилегающих территорий. Экология Арктических и приарктических территорий: материалы международного симпозиума / Институт экологических проблем Севера УрО РАН. – Архангельск, 2010. С. 50 – 53.

13. Ваганова Н.В., Конечная Я.В., Иванова Е.В. Статистический анализ данных сейсмического мониторинга Арктического региона. Экология Арктических и приарктических территорий: материалы международного симпозиума / Институт экологических проблем Севера УрО РАН. – Архангельск, 2010. С. 259 – 261.

14. Французова В.И., Ваганова Н.В., Юдахин Ф.Н., Косарев Г.Л., Орешин С.И. Изучение скоростного разреза земной коры методом приемных функций по наблюдениям сейсмостанции Климовская. Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы: Материалы XVI Международной конференции 20 – 24 сентября 2010 года: в 2-х томах. / под ред. член-корр. РАН Н.М. Чернышова, член-корр. РАН А.А. Маловичко - Воронеж: Научная книга, 2010. Том II. С. 294 – 299.

15. Морозов А.Н., Ваганова Н.В. Годографы сейсмических фаз Р и S для Севера Русской плиты. XII Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник научных материалов.-Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. С. 155 – 159.

16. Французова В.И., Ваганова Н.В., Косарев Г.Л., Орешин С.И. Скоростные разрезы земной коры Севера Русской плиты по данным станций Климовская и Лешуконское. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 344 – 348.

17. Юдахин Ф.Н., Французова В.И., Ваганова Н.В., Конечная Я.В. Обобщение результатов глобального и регионального сейсмомониторинга по данным станций Архангельской сети // Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Коллектив авторов. Под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 30-42.

18. Французова В.И., Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Иванова Е.В. Исследование волновых полей высокочастотных микросейсмических шумов, регистрируемых короткопериодной аппаратурой // Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Коллектив авторов. Под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 65-84.

19. Ваганова Н.В., Косарев Г.Л., Орешин С.И., Французова В.И. Деформированное состояние верхней мантии Севера Русской плиты. Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: Тез. докл. 5 Международного симпозиума, В 2 т. - Бишкек: НС РАН, 2011. Т. 1. С. 262.

20. Ваганова Н.В., Французова В.И., Косарев Г.Л., Орешин С.И. Деформированное состояние верхней мантии под Русской плитой по наблюдениям обменных волн SKS. Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. - Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2011. С. 58 – 60.