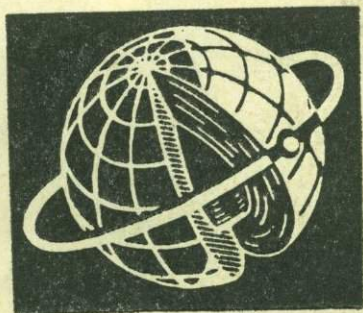


К. И. ЛУКАШЕВ, Ж. П. ХОТЬКО

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ
ИЗУЧЕНИЕ
ЗЕМНЫХ НЕДР
И ОКОЛОЗЕМНОГО
КОСМИЧЕСКОГО
ПРОСТРАНСТВА



АКАДЕМИЯ НАУК БССР
Институт геохимии и геофизики

К. И. ЛУКАШЕВ, Ж. П. ХОТЬКО

1407

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ
ИЗУЧЕНИЕ
ЗЕМНЫХ НЕДР
И ОКОЛОЗЕМНОГО
КОСМИЧЕСКОГО
ПРОСТРАНСТВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА И ТЕХНИКА»
МИНСК 1976



УДК 550.3

К.И.Лукашев, Ж.П.Хотько. ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ЗЕМНЫХ НЕДР И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРО-
СТРАНСТВА. Минск, "Наука и техника", 1976, 54 с.

В книге излагаются результаты геофизического изучения глубинных недр и околоземного космического пространства, проводимого в Институте геохимии и геофизики АН БССР Отделом физики Земли и геофизической обсерваторией в Плещеницах.

Характеризуется состояние исследований по отдельным важным направлениям геофизической науки и задачи в области дальнейшего геофизического изучения земной коры и мантии в Белоруссии.

Рассчитана на широкий круг специалистов в области геофизики и смежных наук о Земле.

Иллюстраций 14. Библиография -- 75 названий.

Рецензенты:

кандидат геолого-минералогических наук

М.В.Могилевич,

кандидат физико-математических наук

Т.А.Проскуракова



Институт геохимии и геофизики АН БССР, 1976

ПРЕДИСЛОВИЕ

Геофизические исследования на территории Белоруссии начаты в предвоенное время и были связаны главным образом с изучением строения осадочного чехла и пород кристаллического фундамента, а также с поисково-разведочными работами на нефть, газ и другие полезные ископаемые. В 1971 г. в Академии наук БССР был создан Институт геохимии и геофизики, в котором осуществляются геофизические исследования физических параметров и глубинного строения земной коры и верхней мантии; теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия физических полей, а также ведутся разработки по автоматизации геофизических исследований.

Эти направления открывают новый этап геофизического изучения земных недр Белоруссии и процессов околоземного космического пространства. Их становление и развитие обусловлено как практическими потребностями, связанными с дальнейшим развитием геолого-геофизических работ на различные полезные ископаемые, так и общенаучными проблемами и идеями согласованных внутрисоюзных и международных геофизических программ. Такие исследования требовали создания новой научно-экспериментальной базы в виде стационарных и передвижных геофизических установок и лабораторий, применения новых методик сейсмологического, магнитотеллурического, геодезического (современные вертикальные движения) изучения земной коры и верхней мантии, постановки специальных длительных рядов наблюдений и анализа переменного электромагнитного поля и др. В развитии исследований особую роль сыграла научно-экспериментальная база, созданная в геофизической обсерватории в Плещеницах, а также геофизический стационар на Нарочи.

На основе экспериментальных и теоретических исследований получены новые данные о глубинном строении территории

Белоруссии и смежных регионов, сейсмических и магнитотеллурических параметрах земной коры и верхней мантии, динамики и активности переменного электромагнитного поля на средних широтах, воздействия космических процессов на околоземное пространство, решен ряд задач прикладного характера.

Целью настоящей работы является краткое изложение основных результатов исследований, выполненных Отделом физики Земли Института геохимии и геофизики АН БССР, а также определение главных направлений дальнейших работ.

В подготовке брошюры приняли участие сотрудники Отдела физики Земли А.М.Боборыкин, А.П.Емельянов, Ю.Н.Кузнецов.

НАУЧНЫЕ ГОРИЗОНТЫ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОФИЗИКИ

Геофизика — одна из важнейших наук естественного профиля. Она изучает физические свойства и процессы Земли и околоземного космического пространства: причины и условия возникновения землетрясений, силу тяжести и распределение ее на земной поверхности, изменения магнитных свойств Земли во времени и пространстве, характер магнитных и электрических полей, радиоактивность горных пород и ее распределение в Земле и др. В связи с этим она разрабатывает геофизические методы и критерии изучения Земли и ее оболочек — сейсмологические, гравиметрические, магнитометрические, электрометрические, радиометрические и др. Эти методы широко используются при решении прикладных задач, особенно при поисках и разведке полезных ископаемых (нефти, газа, урановых руд, металлов). Важнейшие научные средства геофизики — специальные станции и обсерватории, зонды, ракеты, спутники и другие аппараты, предназначенные для исследования тех или иных геофизических процессов и явлений.

Достижения геофизики способствуют развитию наук о Земле. Сейсмология, одна из важнейших отраслей геофизики, обогатившаяся новыми средствами исследований, расширяет представления о внутреннем строении Земли, о неоднородностях и составе коры и мантии. Существует представление о том, что Земля состоит из ядра, мантии и коры (рис.1), которые характеризуются различными мощностями, физическими свойствами пород, энергетическим и тепловым режимом, петрохимическим составом вещества и т.д.

Палеомагнитные исследования земной коры и мантии раскрыли летопись исторического развития земной коры, в которой отразилась геомагнитная хронологическая шкала с палеомагнитными инверсиями и аномалиями. Палеомагнитная стратиграфия, установленная для различных глубин земной коры и по профилям, пересекающим отдельные зоны океанического дна, способствует развитию новых глобальных тектонических пред-

ставлений в геологии, известных под названием тектоники плит. Геолого-геофизическое изучение Мирового океана привело к открытию крупнейших на Земле систем поднятий океанических хребтов, рифтовых зон и позволило установить его сравнительно молодой геологический возраст (до 200 млн. лет). На этой основе создана концепция континентального дрейфа. Жесткая верхняя оболочка Земли разбита на отдельные плиты, которые

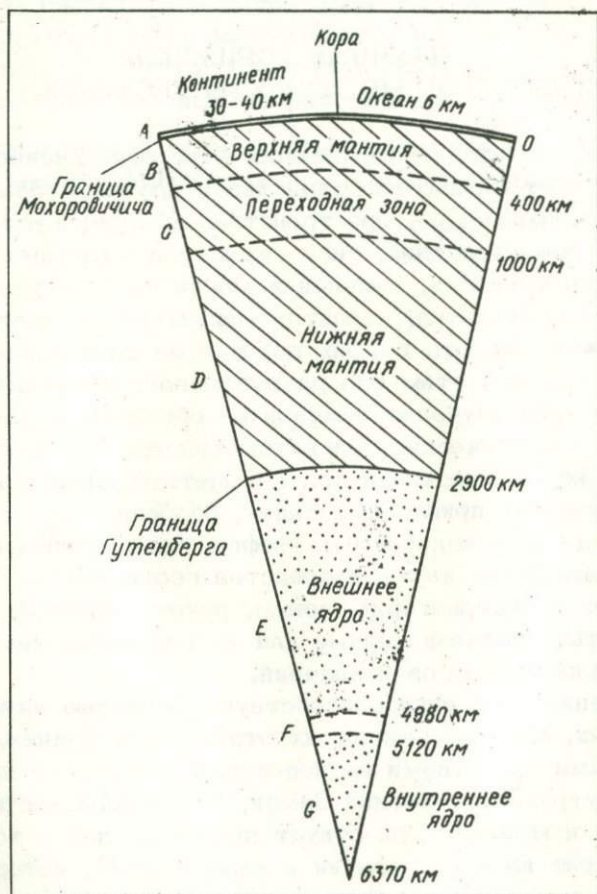


Рис.1. Внутреннее строение Земли (по К.Буллену)

по пластичной астеносфере могут перемещаться в горизонтальном направлении, создавая многообразие структурных форм земной коры. По мнению сторонников этой концепции, океаническая зона образуется в процессе гидратации мантийных пород, а континентальная кора представляет собой продукт вторичной переработки и переплавления океанической коры в мес-

тах, где происходило пододвигание литосферных плит в геосинклинальных зонах Земли. Механизм перемещения, переплавления и изменения мантийных пород позволяет объяснить многие геохимические вопросы, например накопление калия в земной коре, образование нефти и газа путем термоллиза и возгонки биогенных веществ, миграцию нефти на большие расстояния и др.

Не все исследователи, однако, разделяют эти взгляды. Некоторые ученые считают, что для теории пока не имеется достаточно данных, особенно в интерпретации строения срединно-океанических хребтов, природы глубоководных желобов, поглощенных мантией плит и др.

Геофизические и геохимические исследования раскрывают закономерности развития физических и химических процессов на земной поверхности в зависимости от космического и земного взаимодействия. Геофизическое изучение околоземного и космического пространства в последние годы внесло много нового в познание физико-химических процессов в тропосфере, стратосфере, ионосфере, магнитосфере. Открыты внешние и внутренние радиационные пояса Земли, состоящие из заряженных частиц (протонов и электронов), которые обладают энергией до сотен тысяч электронвольт. Образование их связано с взаимодействием космических лучей с веществом земной атмосферы. Установлена определенная цикличность солнечной активности и процессов атмосферы, гидросферы, теплового режима Земли, вызывающих ритмичность изменений климата и, как следствие этого, ритмичность геологических и геохимических процессов, связанных с осадкообразованием, развитием коры выветривания, деятельностью живого вещества. Наблюдается также связь между активностью Солнца и масштабами взаимодействия космических лучей и земным веществом.

Обнаружен рост количества землетрясений, когда Земля находится в перигее. Отмечена связь цикличности солнечной активности и периодичности вулканизма и тектонических проявлений на Земле. Вспышки на Солнце приводят к изменению скорости вращения Земли и положения земной оси. Это в свою очередь вызывает перераспределение масс внутри Земли, ведет к существенному изменению процессов, протекающих на земной поверхности.

Исследования околоземного пространства, новые факты определяют необходимость изучения взаимодействия процессов Земли и околоземного пространства. Эти важнейшие физические, астрономические, геофизические и геохимические проблемы представляют большой научный и практический интерес. Их прикладные аспекты охватывают такие стороны деятельности человека,

как радиосвязь и телевидение, морская навигация и авионавигация, геофизические съемки и поиски полезных ископаемых, наземные и космические геофизические съемки, космические полеты, влияние процессов околоземного пространства на биологические объекты, использование энергии ионосферы — естественного электрического динамо и др.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ И ПРОЕКТЫ

С конца 50-х годов глобальные геофизические исследования осуществляются в рамках международных программ и проектов. В 1957—1959 гг. проводились исследования по проекту "Международный геофизический год" (МГГ), в 1964—1965 гг. — "Международный год спокойного Солнца" (МГСС), главной целью которого являлось изучение солнечно-земных связей. Одновременно стал осуществляться "Проект верхней мантии Земли и ее влияния на развитие земной коры", рассчитанный на 1964—1970 гг. В задачи проекта вошли: выяснение природы границы Мохоровичича, механизм очагов землетрясений, характер изменений электропроводности пород с глубиной, изучение промежуточных слоев и зон в мантии с температурой, близкой к температуре плавления, определение тепловых потоков в различных тектонических районах, изучение типов и стадий метаморфизма, геохимическое изучение вещественного состава в различных зонах и его эволюция в зависимости от магматических, метаморфических и других процессов, выявление основных закономерностей образования и размещения полезных ископаемых в зависимости от геотектонических и физико-химических условий в земной коре. Эти исследования в настоящее время продолжаются в рамках международного "Геодинамического проекта".

В период 1974—1975 гг. осуществляется программа "Геоманнитный меридиан", на 1976—1980 гг. разработана программа "Международное исследование магнитосферы" (МИМ) и ряд частных геофизических проектов.

Научное руководство согласованными исследованиями осуществляет Международный геодезический и геофизический союз, входящий в Международный союз научных союзов. В различных странах созданы национальные комитеты, научные советы и рабочие комиссии по дисциплинам, в функции которых входит координация и разработка программ исследований, унификация методов наблюдений, рекомендаций по развитию научно-исследовательской тематики и национальных научно-исследовательских учреждений. В СССР научно-методическое руководство исследу-

дованиями осуществляет Межведомственный геофизический комитет при Президиуме АН СССР, Научный совет по сейсмологии при Президиуме АН СССР, Научный совет по геомагнетизму АН СССР и др.

РАЗВИТИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БЕЛОРУССИИ

Исследования по международным геофизическим программам стимулировали развитие геофизической науки в стране. В большинстве академий наук союзных республик и филиалах АН СССР созданы геофизические или комплексные геолого-геофизические институты.

В Белоруссии первая научная геофизическая лаборатория создана в 1957 г. в составе бывшего Института геологических наук АН БССР. Задачи ее исследований определялись главным образом вопросами разведочной геофизики: геофизическим изучением осадочного чехла и кристаллического фундамента территории Белоруссии в связи с поисками месторождений нефти, газа и других полезных ископаемых. Лаборатория была также участником исследований земных токов и геомагнитного поля по программе Международного геофизического года. В связи с этим в Плещеницах осуществлено сооружение первой очереди геофизической станции и было положено начало исследованиям по физике Земли в республике.

Новый этап этих исследований по внутрисоюзным и международным геофизическим программам связан с образованием в 1963 г. Сектора физики Земли в составе Лаборатории геохимических проблем АН БССР, выделенной в самостоятельное научное структурное подразделение. В результате строительства второй очереди научно-экспериментальной базы в Плещеницах создана комплексная геофизическая обсерватория, включающая станцию земных токов, геомагнитную обсерваторию, сейсмическую станцию. Введены в строй сейсмическая станция на Нарочи, а в ряде других пунктов республики — временные полевые геофизические установки. В созданном в 1971 г. Отделе физики Земли Института геохимии и геофизики АН БССР получили дальнейшее развитие экспериментальные и теоретические исследования в области физики Земли по направлениям: комплексное геофизическое изучение строения и физических параметров глубинных зон земной коры и мантии, взаимосвязи глубинных и приповерхностных геологических структур; изучение физических полей Земли и их взаимодействий.

Научная тематика по указанным направлениям координиру-

ется Межведомственным геофизическим комитетом при Президиуме АН СССР и другими научными советами АН СССР. Разработки осуществляются в содружестве с головными институтами: Институтом физики Земли АН СССР, Институтом геофизики АН УССР, Институтом земного магнетизма и распространения радиоволн АН СССР, МГУ, ЛГУ и др.

В республике кроме отдела физики Земли Института геохимии и геофизики АН БССР геофизические исследования проводятся также Отдел геофизики БелНИГРИ, производственные геофизические экспедиции Управления геологии при СМ БССР и треста "Геофизнефтеразведка". Главное направление их исследований связано с разработкой геофизических методик и подготовкой структур осадочного чехла для поисково-разведочного бурения на нефть и газ. С этими организациями Отдел физики Земли АН БССР ведет ряд совместных разработок и осуществляет внедрение результатов научных исследований в производство.

ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Геофизические исследования недр Белоруссии начаты в 30-х годах, но планомерно и в широких масштабах они ведутся лишь после Великой Отечественной войны. До 60-х годов исследования были направлены главным образом на геофизическое изучение строения осадочного чехла и верхних зон кристаллического фундамента. Выполнены обобщающие работы, в которых сформулированы закономерности распределения на территории Белоруссии и смежных регионов Прибалтики аномальных геофизических полей, составлены первые карты геоструктурных элементов, внутренней структуры кристаллического фундамента, геолого-геофизические профили и разрезы. Сделаны методические разработки математической интерпретации геофизических данных. Все эти материалы положены в основу теоретических и практических выводов, связанных с перспективами территории Белоруссии на полезные ископаемые.

К настоящему времени сложились общие представления о геотектонических структурах и строении земной коры Белоруссии (рис.2). В структурном плане территории Белоруссии выделяются Белорусский кристаллический массив, Припятская, Брестская и Оршанская впадины, а на смежных территориях республик Прибалтики — Балтийская впадина, Латвийская седловина и южный склон Балтийского щита. Глубина залегания кристаллического фундамента изменяется от сотен метров в пределах

Белорусского массива и южного склона Балтийского щита до 2—3 км в Балтийской впадине и до 5—6 км в Припятской.

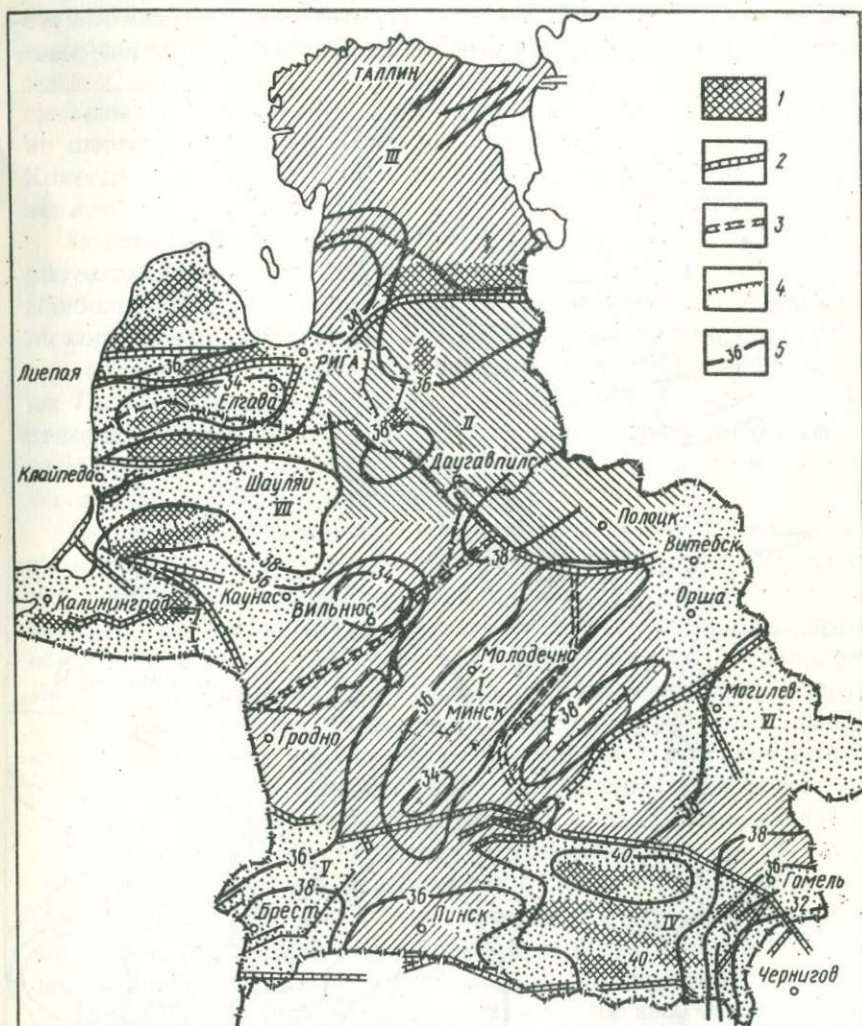


Рис. 2. Схема глубинной структуры земной коры территории Белоруссии и Прибалтики: I — Белорусский массив; II — Латвийская седловина; III — южный склон Балтийского щита; впадины: IV — Припятская, V — Брестская, VI — Оршанская, VII — Балтийская; 1 — выступы кристаллического фундамента внутри структур первого порядка; 2 — глубинные сбросы; 3 — скрытые глубинные разломы; 4 — коровые разломы; 5 — изогипсы поверхности Мохоровичича, км

Геофизическое изучение белорусского региона показало, что в вертикальном строении земной коры поверхность Конрада, т.е. граница между "гранитным" и "базальтовым" слоями, и

поверхность Мохоровичича — между земной корой и мантией, характеризуются неодинаковыми уровнями залегания в разных регионах территории. Глубина залегания поверхности Конрада изменяется от 16 до 20 км (рис.3). Наиболее глубоко она расположена в юго-восточной части Белоруссии. Здесь выделяют

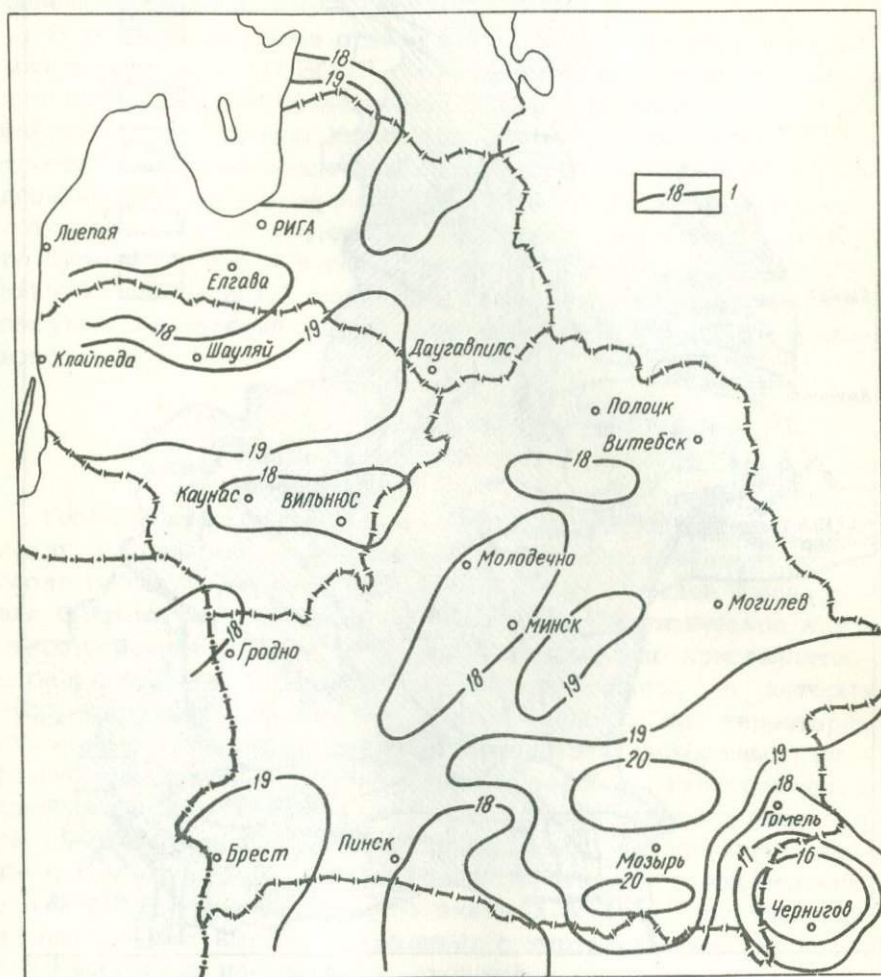


Рис.3. Схема рельефа поверхности Конрада территории Белоруссии и Прибалтики: 1 — изогипсы поверхности Конрада, км

ся субширотные структуры в северной и южной частях Припятской впадины с глубинами залегания поверхности Конрада около 20 км. "Базальтовый" слой наиболее приподнят в центральной части Белоруссии в пределах Белорусского массива до глубин 18 км и менее. По данным глубинных сейс-

мических зондирований (ГСЗ), выполненных Отделом физики Земли совместно с геофизической экспедицией УГ при СМБССР в 1972 г., в районе Гродно—Скидель выявлена область высокого (12—16 км) залегания опорного отражающего горизонта, предположительно отождествляемого с поверхностью "базальтового" слоя. Здесь, вероятно, имеет место "запыль базальта", связанный с глубинными разломами. Аналогичные условия можно видеть в пределах Черниговского блока, где поверхность Конрада, по данным ГСЗ и гравиметрическим расчетам, располагается на глубинах 16 км и менее.

Поверхность Мохоровичича в Белорусском регионе характеризуется изменением глубин от 34 до 42 км (см. рис. 3). Наиболее обширная область высокого залегания поверхности Мохоровичича протягивается в меридиональном направлении через западную и центральную части Белоруссии, западные районы Литвы и Латвии в пределы территории Эстонии. Пространственно она совпадает с поднятием кристаллического фундамента в пределах Белорусского массива, Латвийской седловины и южного склона Балтийского щита.

Сопоставление структур поверхностей Мохоровичича, Конрада и кристаллического фундамента свидетельствует об отражении глубинного строения земной коры в структурном плане ее верхних зон (рис. 4). Так, в юго-восточной части Белоруссии область глубокого залегания этих поверхностей совпадает с Припятской впадиной, где кристаллический фундамент погружен до глубины 5—6 км. Аналогичные соотношения имеют место в юго-западной части Белоруссии в пределах Брестской впадины, соответствующей относительно погружению подкорового субстрата до 38 км. Белорусский массив и его склоны с глубинами залегания кристаллического фундамента от 100 до 600 м совпадают с наиболее приподнятой областью поверхности Мохоровичича (до 36 км). При этом структуры докембрия изменяют свое направление на северо-восточное в соответствии со структурными формами подкорового и "базальтового" слоев.

Взаимосвязь приповерхностных и глубинных структур отражается в закономерностях проявления разломной тектоники и, в частности, глубинных разломов. Им принадлежит ведущая роль в формировании блоковой структуры земной коры, в образовании условий, благоприятных для формирования месторождений полезных ископаемых. На основании совокупности геолого-геофизических признаков на территории Белоруссии и республик Прибалтики установлены разломы различных простираний, возраста, протяженности, глубины заложения и др. Глубинные разломы, проникающие в верхнюю мантию, подразделяют земную

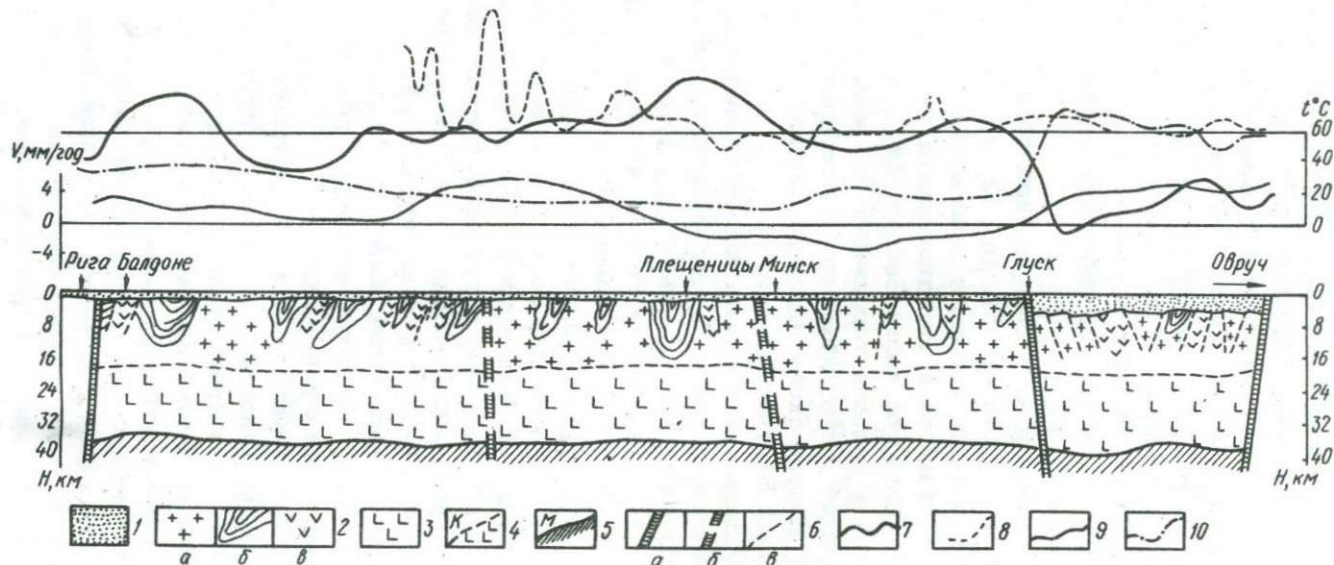


Рис.4. Схематический геолого-геофизический разрез земной коры по профилю Рига—Плещеницы—Минск—Овруч: 1 — осадочный слой; 2 — "гранитный" слой: а — гранитоиды, б — гнейсы, в — породы средних и основных интрузий; 3 — "базальтовый" слой; 4 — поверхность Конрада (К); 5 — поверхность Мохоровичича (М); 6 — разломы: а — глубинные сбросы, б — скрытые, в — коровые; 7 — кривая региональных аномалий силы тяжести Δg_{ρ} ; 8 — кривая магнитных аномалий ΔT_{α} ; 9 — кривая скоростей современных вертикальных движений V , мм/год; 10 — кривая температур $t^{\circ}\text{C}$ на фундаменте

кору на блоки. В плане блоки имеют преимущественно форму прямоугольников, вытянутых в северо-западном или широтном направлениях. Они характеризуются различным строением, тектоническим режимом, мобильностью. С колебательными движениями блоков связаны формирование и геологические особенности основных геоструктурных элементов докембрийского фундамента и осадочного чехла.

Так, наиболее приподнятый блок соответствует Белорусскому массиву. Ему свойственны на протяжении всего палеозоя преимущественно восходящие движения, обусловившие выпадения из разреза мощных литолого-стратиграфических комплексов осадочных отложений, глубокий эрозионный срез складчато-интрузивных образований докембрия.

Наиболее опущенный блок совпадает с контурами Припятской впадины. В течение длительного геологического времени, начиная с девона, для нее характерны преимущественно нисходящие движения, проявившиеся особенно интенсивно в верхнедевонское время и обусловившие накопление мощных толщ соленосных отложений.

С историей колебательных движений крупных блоков связано также образование и других геоструктурных элементов территории Белоруссии и Прибалтики, которые детально показаны на схематической карте структуры поверхности фундамента (рис.5).

Следует указать на различную степень современной мобильности блоков земной коры, отражающих интенсивность физико-химических процессов, происходящих в верхней мантии (рис.6). Установлено, что западная и южная части территории республики характеризуются положительными скоростями современных движений. Районы поднятий охватывают крупные геоструктурные элементы -- Белорусский массив, Припятскую и Брестскую впадины. Здесь на среднем фоне поднятий около 5 мм/год выделяются дифференцированные движения блоков со скоростями до +9 мм/год (район г.Пинска, г.п.Микашевичи и др.). Северо-восточная часть республики характеризуется опусканием земной коры со скоростью 1--3 мм/год. Зона опусканий приурочена к восточному склону Белорусского массива и Оршанской впадине.

Пространственному распределению современных движений свойственны зоны резкого изменения скоростей вертикальных движений субмеридионального и субширотного (продольного и поперечного) направлений. Одна из них проходит через всю территорию республики в направлении Петриков--Минск--Дрисса. Она "пересекает" разнотипные геоструктурные элементы -- Припятскую впадину, Белорусский массив, Латвийскую седловину и примерно соответствует границе разновозрастной складчатости, т.е.

отражает особенности внутренней структуры кристаллического фундамента. Здесь в сравнительно узкой зоне скорость вертикальных движений изменяется до 8 мм/год. Аналогичная зона по

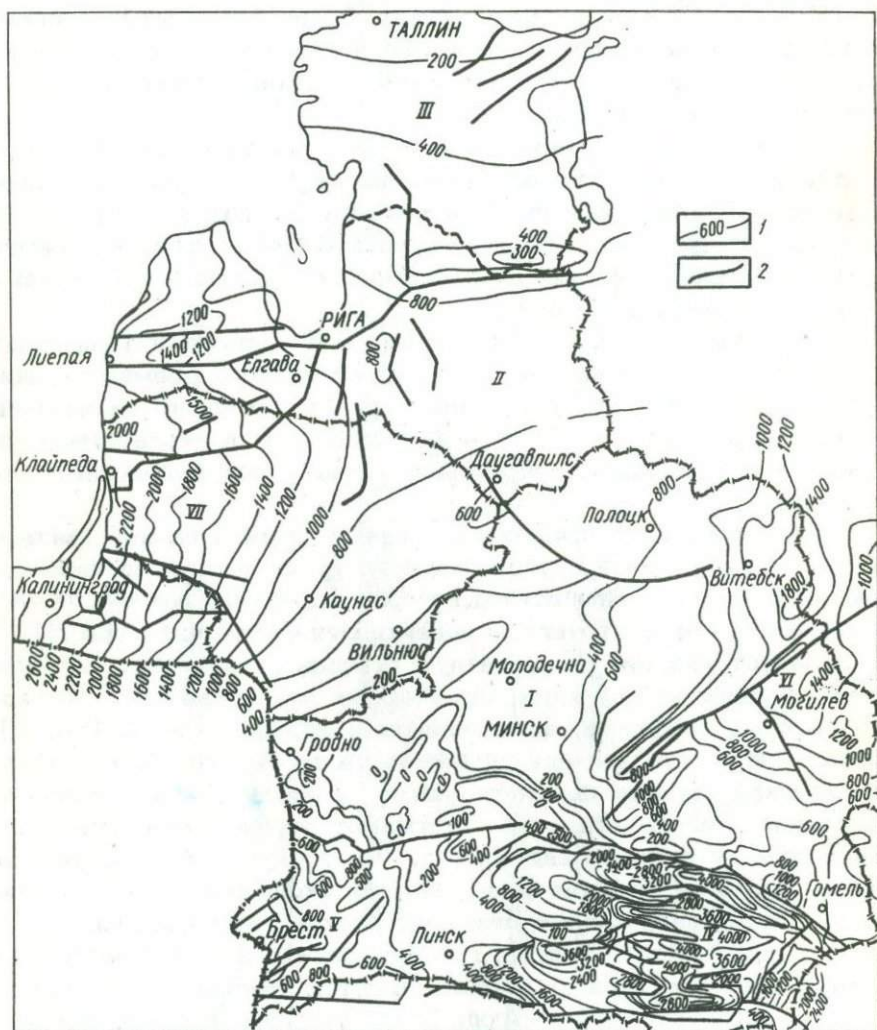


Рис.5. Схематическая карта рельефа поверхности докембрийского кристаллического фундамента территории Белоруссии и Прибалтики: 1 — изогипсы поверхности докембрийского кристаллического фундамента, м; 2 — зоны разломов

характеру изменения скорости субширотного пространства выделяется в южной части БССР по направлению Гомель—Паричи—Глуск, совпадающей с северной бортовой зоной Припятской впадины. В восточной части впадины также выделяется полоса

сгущения изолиний в направлении Лоев--Брагин--Гомель, соответствующая пограничной зоне Припятской впадины и Черниговского максимума.

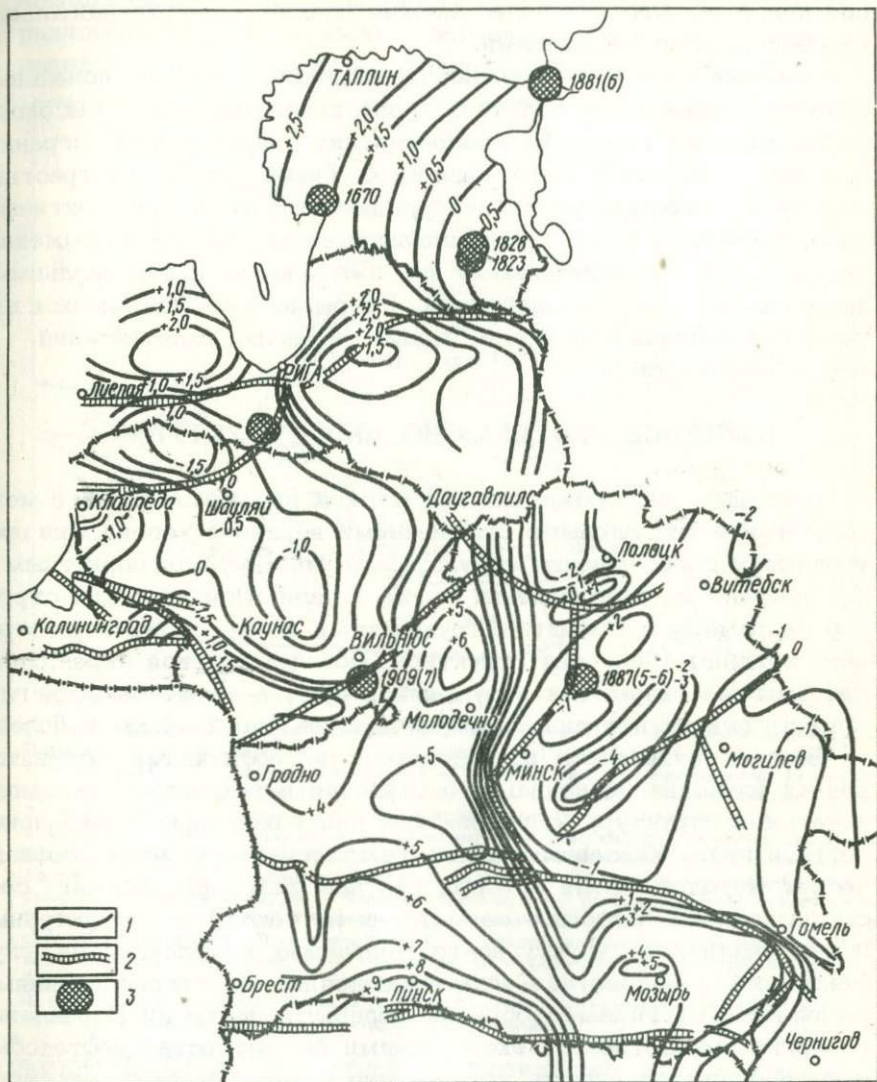


Рис.6. Схематическая карта современных вертикальных движений земной коры территории Белоруссии и Прибалтики: 1 — изобаты, мм/год; 2 — глубинные разломы; 3 — эпицентры землетрясений, год и балл (в скобках)

На территории прибалтийских республик также выделяются обширные области современных поднятий и опусканий (от +3 до



-2 мм/год), разделенные линейными зонами высоких градиентов современных движений преимущественно субширотного простирания. На фоне региональных областей (блоков) поднятий и опусканий выделяются более мелкие блоки с дифференциально-колебательными движениями.

Геофизические исследования показывают, что региональные области современных поднятий и опусканий связаны с высокой мобильностью главнейших геологических структур и их пограничных зон в виде глубинных разломов. Такие зоны контрастных движений характеризуются повышенной сейсмической активностью, поскольку здесь могут накапливаться упругие напряжения, связанные с горизонтальными колебательными и вертикальными движениями блоков земной коры. Разрядка накапливающихся напряжений проявляется в виде макро- и микроземлетрясений, о чем сказано ниже.

ИЗУЧЕНИЕ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ СТРУКТУР

Нефтяные месторождения Припятской впадины связаны с межсолевыми и подсолевыми отложениями верхнего девона. Они приурочены к определенным структурным формам, благоприятным для накопления и сохранения нефти и газа. Поиски таких структур сопряжены с большими трудностями из-за сложности строения впадины (блоковая структура, мощный солевой экран, сложная система разрывных нарушений и др.), а также большой глубины залегания нефтенасыщенных пластов (до 2--4 км и более).

В этой связи перед исследователями-геофизиками ставятся задачи изучения регионального строения и тектоники впадины, локальных структур, благоприятных для накопления и сохранения нефти и газа. Указанные задачи решаются комплексом геофизических методов, среди которых ведущая роль принадлежит сейсморазведке. С помощью ее методик изучаются структурные планы различных структурно-тектонических комплексов на глубинах до 4 км и более. Сейсморазведочными исследованиями, выполняемыми главным образом полевыми партиями Управления геологии при СМБССР, экспедициями Министерства нефтедобывающей промышленности, установлено около 100 локальных структур осадочного покрова (часть из них показана на рис.7).

Изучение современной мобильности блоков земной коры и особенно зон контрастных современных вертикальных движений, соответствующих зонам разрывных нарушений, представляет большой интерес для прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых, в том числе нефти и газа. Приуроченность мес-

торождений к таким зонам доказана для многих регионов страны — Нижнего Поволжья, Днепровско-Донецкой впадины и др. Аналогичные соотношения между активностью зон глубинных разломов, их сейсмичностью, интенсивностью температурных полей и условиями нефтегазоаккумуляции обнаруживаются на тер-

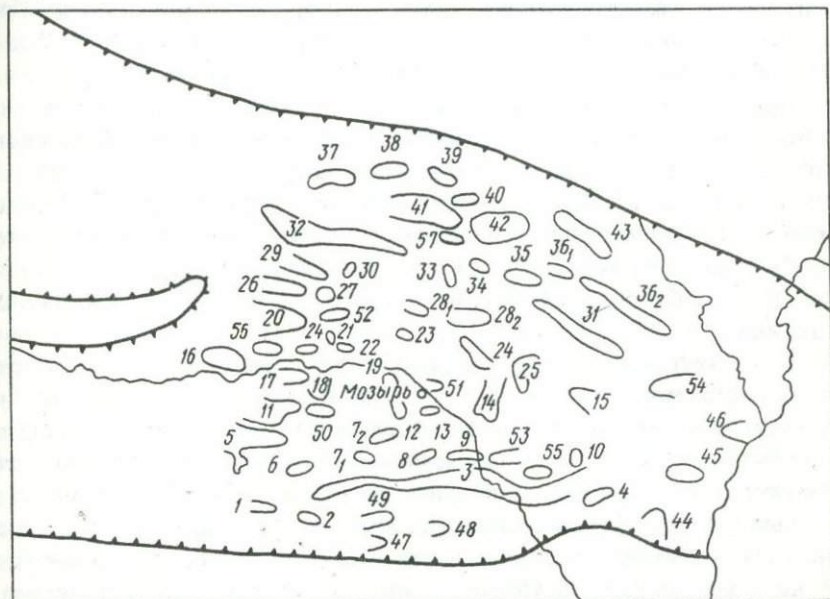


Рис.7. Основные локальные структуры Припятской впадины: 1 — Западно-Валавская; 2 — Валавская; 3 — Ельский вал; 4 — Стреличская; 5 — Буйновичская; 6 — Анисимовская; 7₁ — Заозерная; 7₂ — Восточно-Заозерная; 8 — Кустовичская; 9 — Наровлянская; 10 — Хойникская; 11 — Сколодинская; 12 — Каменская; 13 — Мозырская; 14 — Автюковская; 15 — Великоборская; 16 — Петриковская; 17 — Шестовичская; 18 — Скрыгаловская; 19 — Прудковская; 20 — Копшевичская; 21 — Конковичская; 22 — Птичская; 23 — Суховичская; 24 — Дудичская; 25 — Хобнинская; 26 — Залесская; 27 — Копаткевичская; 28₁ — Гороховская; 28₂ — Восточно-Гороховская (Южно-Домановичская); 29 — Комаровичская; 30 — Северо-Копаткевичская; 31 — Малодушинская; 32 — Червонослободская; 33 — Домановичская; 34 — Корневская; 35 — Осташковичская; 36 — Тишковская; 36₂ — Речицкая; 37 — Малынская; 38 — Мошеевская; 39 — Чернинская; 40 — Кормянская; 41 — Вишанская; 42 — Давыдовская; 43 — Первомайская; 44 — Синцовская; 45 — Брагинская; 46 — Лоевская; 47 — Выступовичская; 48 — Восточно-Выступовичская; 49 — Ново-Рудненская; 50 — Казимировская; 51 — Гулевичская; 52 — Южно-Копаткевичская; 53 — Обуховская (Восточно-Наровлянская); 54 — Вышемировская; 55 — Тульговичская; 56 — Бобрисккая; 57 — Меховицкая

ритории БССР и Прибалтики. Наиболее ярко они выражены в Припятской впадине, где нефтяные месторождения приурочены к ее северному борту, ограниченному системой пубинных разломов. Месторождения располагаются "цепочками", вытянутыми в субширотном направлении в соответствии с простираанием зон разломов. Последние характеризуются высокой степенью подвижности, сейсмической активностью, резким изменением аномального гравитационного и теплового полей и др. Южный борт Припятской впадины не имеет такой контрастной геофизической

характеристики и, вероятно, отличается меньшей степенью мобильности. Здесь пока не выявлено крупных месторождений нефти и газа. Все это свидетельствует о том, что нефтяные месторождения приурочены к зонам "активных" разломов. Сюда, в зоны разрядки энергии напряжений, облегчается миграция углеводородов как из глубоких недр Земли, так и из смежных "напряженных" участков. Приведенные данные свидетельствуют о том, что наличие разломов в пределах впадин является одним из важных признаков обнаружения локальных структур в осадочном чехле, с которыми могут быть связаны месторождения нефти и газа. В этой связи возникает задача классификации зон разломов по их "мобильности" путем изучения современных движений, сейсмичности, геотермических условий. Эти признаки необходимо включить в число оценочных критериев нефтеносности новых площадей как в Припятской, так и в Балтийской впадинах.

Геофизические исследования по нефтяной тематике в Институте геохимии и геофизики АН БССР осуществляются в направлении изучения глубинного строения Припятской впадины, современной мобильности и сейсмической активности ее геоструктурных элементов, повышения эффективности сейсморазведочных работ. Установлены условия формирования и распространения сейсмических колебаний для различных геолого-структурных моделей Припятской впадины. Разработан и внедрен в производство ряд программ математической интерпретации сейсморазведочных данных, а также сделаны рекомендации по улучшению методик полевых сейсморазведочных работ.

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ДОКЕМБРИЯ

Перспективы территории Белоруссии на металлические полезные ископаемые связаны с докембрийским кристаллическим фундаментом сводовой части Белорусского массива, где поверхность фундамента залегает на глубине 100—150 м. На картах магнитных и гравитационных аномалий, составленных геофизиками Института геологических наук АН БССР еще в 50-х гг., в северо-западных областях республики выделена зона полосовых аномалий шириной свыше 250 км, простирающаяся от северо-западной части Украинского щита через Белорусский массив в сторону Латвийской седловины. Внутри зоны имеют место сочетание узких полос сравнительно интенсивных магнитных аномалий до 1000 гамм и более, отражающих складчато-интрузивную структуру кристаллического фундамента. Наиболее интенсивные аномалии (до 6000 гамм) в районах Щучи-

на, Ивье, Кореличей проинтерполированы как участки с возможно повышенной ферромагнитной минерализацией, связанной с интрузиями основных пород и складчато-метаморфическими гнейсовыми толщами докембрия. Этот прогноз лег в основу дальнейших геофизических исследований методами гравиметрии, электроразведки в пределах Кореличской и Околовской аномальных зон. Бурение скважин в этих зонах привело к открытию магнетит-ильменитовых руд (Кореличи) и железистых кварцитов типа КМА (Околово).

Последнее особенно важно, так как значительно расширяет перспективы выявления промышленных месторождений. Околовское месторождение железных руд приурочено к толще метаморфизованных вулканогенных образований Околовской серии нижнего протерозоя. Представлено оно тремя моноклинно залегающими пластообразными телами железистых кварцитов, отражающимися в магнитном поле в виде узких аномальных зон. По геофизическим расчетам пласты простираются до глубины 1,5—2,3 км. Общие запасы Околовского месторождения, по предварительным подсчетам, составляют 2 млрд. т руды. Запасы могут быть значительно увеличены за счет слабомагнитных маргитовых руд типа Кривого Рога, залегающих пока в виде маломощных прослоев. Здесь также обнаружена сульфидная минерализация (халькопирит, пирит, пирротин). Все это определяет необходимость расширения научных исследований в области металлоносности массива, продолжения детальных геолого-геофизических исследований в зонах выявления перспективных аномалий, постановки глубинных сейсмических зондирований для изучения "корней" складчатых систем, наконец, предопределяет бурение глубокой скважины с проходкой по фундаменту до 2 км и более для изучения условий оруденения на глубине.

Следует также обратить внимание на зоны контрастных движений земной коры, связанные с глубинными разломами. Последние могли явиться каналами для проникновения продуктов мантии в верхние горизонты земной коры и формирования месторождений платины, алмазов, магнетита, медно-никелевых руд. Скрытые разломы могут способствовать формированию месторождений полиметаллов на глубине. Это обуславливает важность дальнейшего изучения глубинной структуры региона и взаимосвязи глубинных и приповерхностных геологических структур и процессов.

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И МАНТИИ

На земном шаре по активности колебательных движений выделяют сейсмические области, к которым приурочены сильные и частые землетрясения, и асейсмические, в которых землетрясения проявляются очень редко и большой силы не достигают. К сейсмическим областям относятся в первую очередь обширные территории Тихоокеанского и Средиземноморского поясов. При землетрясениях выделяется громадная энергия от 10^{10} (при 1-балльном) до 10^{26} эрг (при 12-балльном). Вследствие этого многие землетрясения причиняют значительный материальный ущерб, а иногда уносят тысячи и даже сотни тысяч человеческих жизней. В Советском Союзе свыше 20% территории подвержено землетрясениям. Зоны 9-балльных и более сильных землетрясений, вызывающих катастрофические разрушения, охватывают районы Камчатки, Курильских островов, горных районов Памира, Забайкалья, Закавказья и др. Сильные (7-балльные) землетрясения охватывают широкую полосу вдоль южных границ от Камчатки до Карпат, включающую Сахалин, Прибайкалье, Саяны, Крым, Молдавию и др. Землетрясения в 4—6 баллов возможны в более северных районах СССР — в Сибири, на Урале, на Кольском полуострове.

Белоруссия относится к асейсмической зоне. Однако и здесь, по-видимому, возможны сильные землетрясения. Об этом свидетельствуют данные, приводимые И.В.Ананьиним, согласно которому очаги землетрясений на Русской платформе, в том числе и в Белоруссии, приурочены к разломным зонам земной коры. В частности, исследователь указывает на 6-балльное землетрясение, которое произошло в 1887 г. северо-восточнее Минска (см. рис. 6).

Главной задачей сейсмологии является разработка способов прогноза землетрясений и, возможно, их предупреждения. Вместе с тем в настоящее время геофизиками поставлена задача использования информации упругих волн, возникающих при землетрясениях, для изучения строения не только внутренних оболочек Земли, но и земной коры и верхней мантии. В этой связи сейсмологические исследования осуществляются в платформенных не сейсмоопасных областях, в том числе и в Белоруссии. Изучение сейсмичности земной коры в Белоруссии приобретает важное значение и в связи с тем, что хозяйственная деятельность, связанная со строительством больших городов и промышленных сооружений, созданием крупных водоемов, эксплуатацией мес-

торождений нефти и других полезных ископаемых, в ряде случаев приводит к местным землетрясениям в виде слабых толчков (тресков) в зонах глубинных разломов.

Изучение сейсмичности территории Советского Союза осуществляют многие научно-исследовательские учреждения под руководством Междуведомственного Совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР. Регистрацию землетрясений производят сейсмические станции Единой системы сейсмических наблюдений (ЕССН), к числу которых относится сейсмическая станция "Минск", расположенная в геофизической обсерватории в Плещеницах. Она оснащена сейсмографами общего типа со стандартной и пониженной чувствительностью и длиннопериодными сейсмографами. В настоящее время на станции установлена автоматическая аппаратура для регистрации в цифровом коде сейсмических процессов. Опыт цифровой регистрации на сейсмической станции "Минск" планируется в будущем распространить на другие опорные станции ЕССН. Сейсмические наблюдения в Плещеницах с 1973 г. дополняются наблюдениями на сейсмической станции "Нарочь", оборудованной аппаратурой для регистрации длиннопериодных волн.

Сейсмические станции Белоруссии регистрируют землетрясения всех районов земного шара. По данным регистрации определяются магнитуда землетрясения, координаты (азимут и эпицентральное расстояние), глубина очага, выделяются различные типы объемных (продольные и поперечные) и поверхностных волн (Лява и Релея), изучаются их характеристики, спектральный состав и пути прохождения через земные недра. Сведения о регистрируемых процессах ежедекадно направляются в Центральную сейсмологическую обсерваторию в Обнинске и в Западный территориальный центр для составления общих сейсмических бюллетеней ЕССН. Указанные данные совместно с записями других станций ЕССН используются для изучения механизма землетрясений, сейсмического районирования территории СССР и для решения других вопросов, связанных с изучением физики землетрясений и их прогноза. Записи объемных и в особенности длиннопериодных релеевских волн используются для изучения глубинного строения земных недр.

По проблеме прогноза землетрясений в Институте геохимии и геофизики АН БССР проводятся исследования по установлению связи между сейсмичностью и неравномерностью вращения Земли. В результате того, что земная кора и верхняя мантия состоят из отдельных, различающихся по массе блоков, при изменении скорости вращения Земли на границах блоков наблюдается концентрация положительных или отрицательных избыточ-

ных напряжений, т.е. происходит образование зон современного накопления тектонических напряжений. Отмечено, что в периоды резкого замедления вращения Земли сейсмичность Южно-Курильской островной дуги значительно возрастает, а для американского побережья наблюдается обратная картина. Это дает определенные основания утверждать, что большую роль в возникновении землетрясений играет напряжение растяжения.

Важное значение придается изучению глубинного строения западного региона СССР, в том числе и территории Белоруссии, по объемным и поверхностным волнам. Строение глубинных недр изучается на основе данных, полученных на станциях "Минск", "Обнинск", "Пулково", "Нарочь", "Вильнюс". Используются различные современные методы интерпретации. Хорошие результаты получены по данным исследования фазовых скоростей поверхностных волн, возбуждаемых удаленными землетрясениями. Анализ сейсмических данных позволил установить мощность земной коры, "гранитного" и "базальтового" слоев в районе сейсмических станций и на профилях между станциями. Для Белорусского массива в районе сейсмической станции "Минск" мощность земной коры равна 36--38 км, "гранитного" слоя — 16 км, "базальтового" — 20 км, средняя скорость продольных волн составляет 6,0—6,1 км/сек. По профилям между сейсмическими станциями Белоруссии и Прибалтики мощность земной коры изменяется от 36 до 42 км.

На основе использования длиннопериодных сейсмических волн в интервале 20--100 сек. получены данные не только о параметрах земной коры, но и верхней мантии до глубины 400 км. В пределах Белорусского массива и Латвийской седловины установлен семислойный скоростной разрез (рис. 8). В слое верхней мантии на глубинах 115--130 км скорость поперечных волн с 4,7 км/сек. понижается до 4,4 км/сек., что, вероятно, связано с повышением вязкости вещества в зоне так называемого волновода.

Данные сейсмологии использованы для комплексной интерпретации других геофизических материалов, в частности гравиметрических, магнитотеллурических, геомагнитных и др.

Наряду с изучением глубинного строения Земли по сейсмическим волнам, возбужденным землетрясениями, в институте в содружестве с научными и производственными ор-

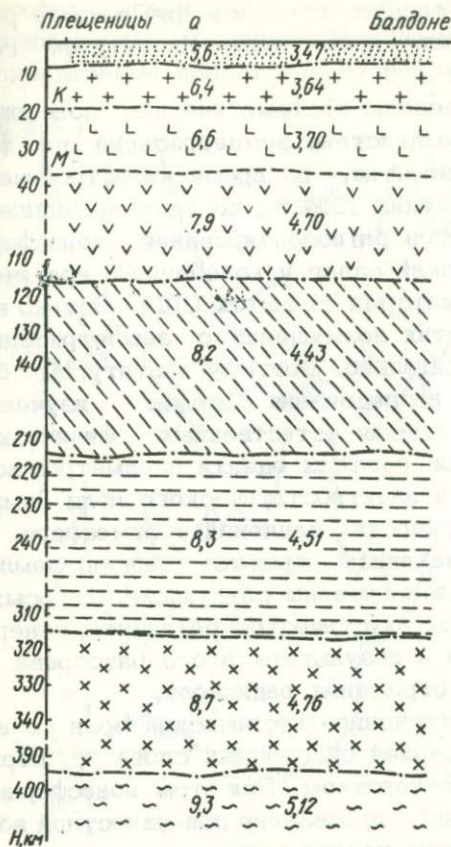


Рис.8. Схематический скоростной разрез земной коры и верхней мантии по профилю Плещеницы—Балдоне: цифры — скорости продольных (а) и поперечных (б) сейсмических волн км/сек. К и М— поверхности Конрада и Мохоровичича

Ганизациями проводят — ся исследования по методике сейсмологии и взрывов, главным образом по методу глубинных сейсмических зондирований. В 1974г. такие исследования выполнены в Брестской, Гродненской и Волынской областях совместно с Институтом геофизики АН УССР, Институтом геофизики ПНР и Управлением геологии при СМ БССР. Они будут продолжены в последующие годы. Будут продолжены также исследования по изучению местной сейсмичности на базе стационарных и передвижных регистрирующих установок, расширены исследования в области влияния неравномерности вращения Земли на сейсмичность в целях изучения механизма очага и прогноза землетрясений.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ С ВНУТРИЗЕМНЫМИ И КОСМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Естественные физические поля Земли являются отражением физических процессов, происходящих в Земле, на Солнце и в космическом пространстве. В свою очередь они влияют как на эти, так и на другие физические, химические, биологические процессы и явления, происходящие на земной поверхности и в ее твердых оболочках, а также в гидросфере, атмосфере, ионо-

сфере, магнитосфере. Здесь следует отметить две важные разработки в данном направлении, проведенные Институтом геохимии и геофизики АН БССР.

Институтом впервые проведены систематические поисковые исследования по изучению воздействия землетрясений на физические поля Земли. Как известно, во время катастрофического Аляскинского землетрясения 1964 г., по данным доплер-метода и метода вертикального радиозондирования ионосферы, зарегистрированы доплеровский сдвиг и колебания критических частот ионосферы на некоторых станциях США. Однако вопрос о генетической связи этих возмущений с землетрясениями ставился лишь предположительно. Поэтому институтом были проведены теоретические исследования с целью изучения возможных механизмов возмущения естественных физических полей Земли землетрясениями, сделаны оценки параметров возмущений электромагнитного и электростатического поля Земли, а также флуктуаций микробарических давлений в атмосфере. На втором этапе рассмотрены механизм передачи энергии землетрясений в ионосферу. Проанализированы следующие вопросы:

а) разогревание атмосферы акустической радиацией, генерированной землетрясениями, и в результате этого разогрева -- подъем критического уровня отражения радиоволн;

б) распространение гравитационно-акустических волн в атмосфере, аппроксимируемой серией однородных слоев с верхним изотермическим полупространством. При этом ионосферные вариации рассматриваются как проявление поверхностной волны гравитационно-акустического пакета волн;

в) распространение на ионосферные высоты акустических волн в неоднородной многослойной атмосфере с учетом промежуточного отражения, прохождения и поглощения волн.

При оценках учитывалось поглощение за счет радиационного теплообмена, вязкости и теплопроводности атмосферы, а на ионосферных высотах -- затухание за счет джоулевой диссипации в магнитном поле Земли. Показано, что основным механизмом затухания акустических колебаний, генерированных волнами Релея, в тропосфере является радиационный теплообмен, который намного выше затухания за счет вязкости и теплопроводности. На высотах около 100 км существенной становится джоулева диссипация, которая имеет тот же порядок, что и коэффициент затухания Релея за счет вязкости и теплопроводности атмосферы.

Результатом теоретических исследований явилось заключение о том, что землетрясения влияют на верхнюю атмосферу

(ионосфере). Выяснено также, что возмущения ионосферы, обусловленные слабыми землетрясениями, имеют местный характер и локализованы вблизи эпицентров землетрясений. Сильные зем-

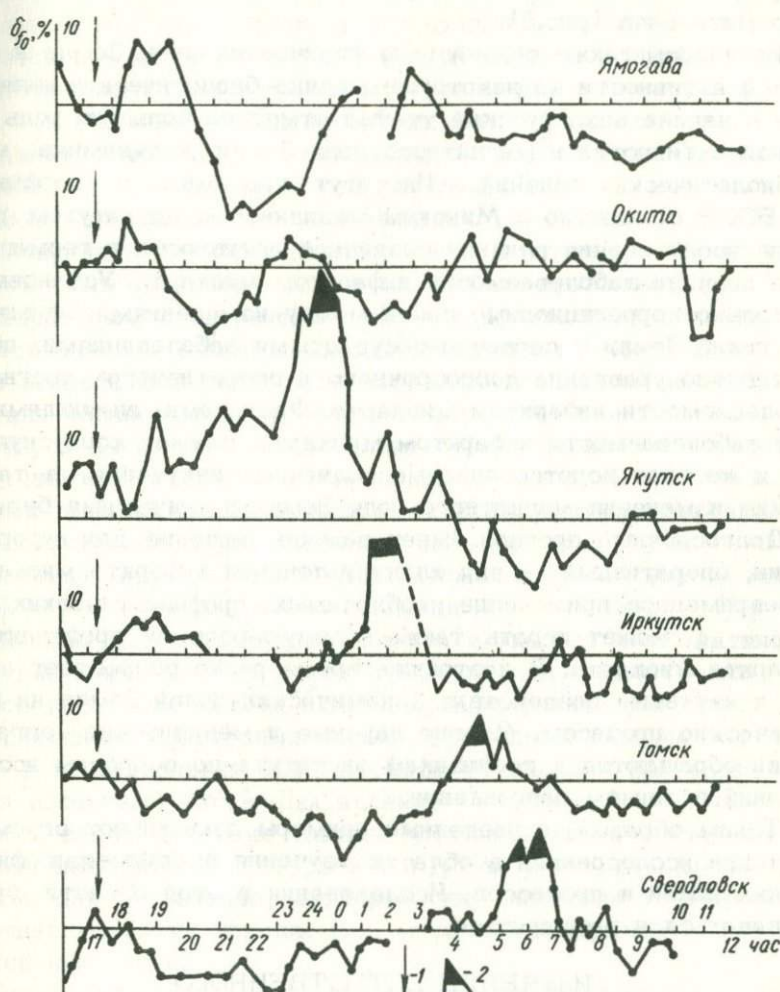


Рис.8. Изменения критических частот слоя F_2 в период прихода гравитационно-акустических волн из эпицентра землетрясения в Японской впадине: 1 — землетрясение; 2 — ионосферное возмущение

летрясения проявляются в ионосфере на значительных расстояниях (тысячи километров) от их эпицентров. Был выбран класс землетрясений, способных генерировать возмущения ионосферы, которые можно зарегистрировать по данным стандартных вертикальных радиозондирований. Для выделения соответствующих

возмущений и их увязки с землетрясениями разработаны необходимые приемы обработки сейсмо-ионосферной информации. Теоретические выводы подтверждены анализом экспериментального материала (рис.9).

Изучалось также воздействие физических полей Земли и солнечной активности на некоторые медико-биологические явления. Еще в начале века русские ученые отметили большую роль солнечной активности и магнитного поля Земли в динамике медико-биологических явлений. Институт геохимии и геофизики АН БССР совместно с Минским медицинским институтом проводил исследования влияния солнечной активности и геомагнитного поля на заболеваемость инфарктом миокарда. Установлены не только корреляционные связи между изменениями физических полей Земли с сердечно-сосудистыми заболеваниями, но и составлено уравнение долгосрочного и оперативного прогноза заболеваемости инфарктом миокарда. Факторами, влияющими на рост заболеваемости инфарктом миокарда, служат корпускулярное и жесткое коротковолновые солнечные излучения, а также резкие изменения магнитного поля Земли и магнитные бури.

Долгосрочный прогноз имеет важное значение для курортологии, оперативный — для клиники лечения инфаркта миокарда. Своевременное применение необходимых профилактических мероприятий может играть также важную роль в профилактике инфаркта миокарда. В настоящее время резко возрастает интерес к изучению воздействия динамических полей Земли на биологические процессы. Многие научные и медицинские организации обращаются к геофизикам института по вопросам исследований в данном направлении.

Таким образом, приведенные примеры показывают огромное значение исследований в области изучения взаимосвязи физических полей и процессов. Исследования в этой области будут развиваться и расширяться.

ИЗУЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Одним из важнейших объектов исследований геофизики является магнитное поле Земли. Оно разделяется на постоянное и переменное. Источник постоянного поля Земли — предположительно сложный механизм взаимодействия двух типов движений в земном ядре: конвективных, обусловленных распадом радиоактивных элементов, и дифференциального вращения ядра. При этом формируется так называемый "динамомеханизм" в

ядре, который генерирует постоянную часть геомагнитного поля.

Переменное поле Земли связано с воздействием внешних факторов на постоянное геомагнитное поле (солнечный ветер, межпланетные магнитные поля, корпускулярные потоки и т.д.) и проявляется в виде его вариаций. Под действием внешних факторов магнитное поле Земли сложным образом деформируется и образует так называемую магнитосферу Земли. Магнитосферу можно определить как область околоземного пространства, которая заполнена линиями магнитного поля, соединенными с земной поверхностью, насыщенную заряженными частицами различного происхождения и различных энергий. Магнитосфера играет важнейшую роль как в физических процессах, протекающих в Земле и околоземном пространстве, так и в процессах, связанных с существованием самой жизни. Она защищает атмосферу от прямого воздействия солнечного ветра, от проникновения губительных для жизни протонов. Магнитосфера определенным образом действует на неустойчивый баланс стратосферной и тропосферной динамики, что, возможно, является одной из причин, вызывающих высвобождение огромной энергии, аккумулированной в атмосферных погодных системах. За последние 15 лет благодаря ракетам, спутникам и другим космическим аппаратам сделан огромный шаг вперед в исследовании магнитосферы. Изучены морфология магнитного поля, состав и энергия частиц, взаимодействие магнитосферы с солнечным ветром, существенно углубилось понимание многих сопутствующих физических процессов, их причинно-следственных связей. Громадный интерес во всем мире к исследованиям магнитосферы обусловлен как чисто научными аспектами изучаемых явлений ("горячая" и "холодная" плазма, взаимодействие частиц, электрические и магнитные поля, магнитосферные суббури и т.п.), так и их прикладным значением для радиосвязи, метеорологии, медицины, геофизической разведки полезных ископаемых, морской, воздушной и космической навигации.

Рассмотрим коротко главные особенности строения магнитосферы и процессы, протекающие в ней. Конфигурация магнитосферы определяется взаимодействием земного магнитного поля с солнечным ветром, представляющим собой плазму с "вмороженными" линиями солнечного магнитного поля, летящую от Солнца со скоростью 400 км/сек. (рис.10). Магнитное поле Земли является препятствием для солнечного ветра. Поэтому на некотором расстоянии от Земли образуется стационарная ударная волна. При спокойном состоянии ветра это расстояние находится в пределах 14--15 R_E ($R_E = 6370$ км). За ударной волной распо-

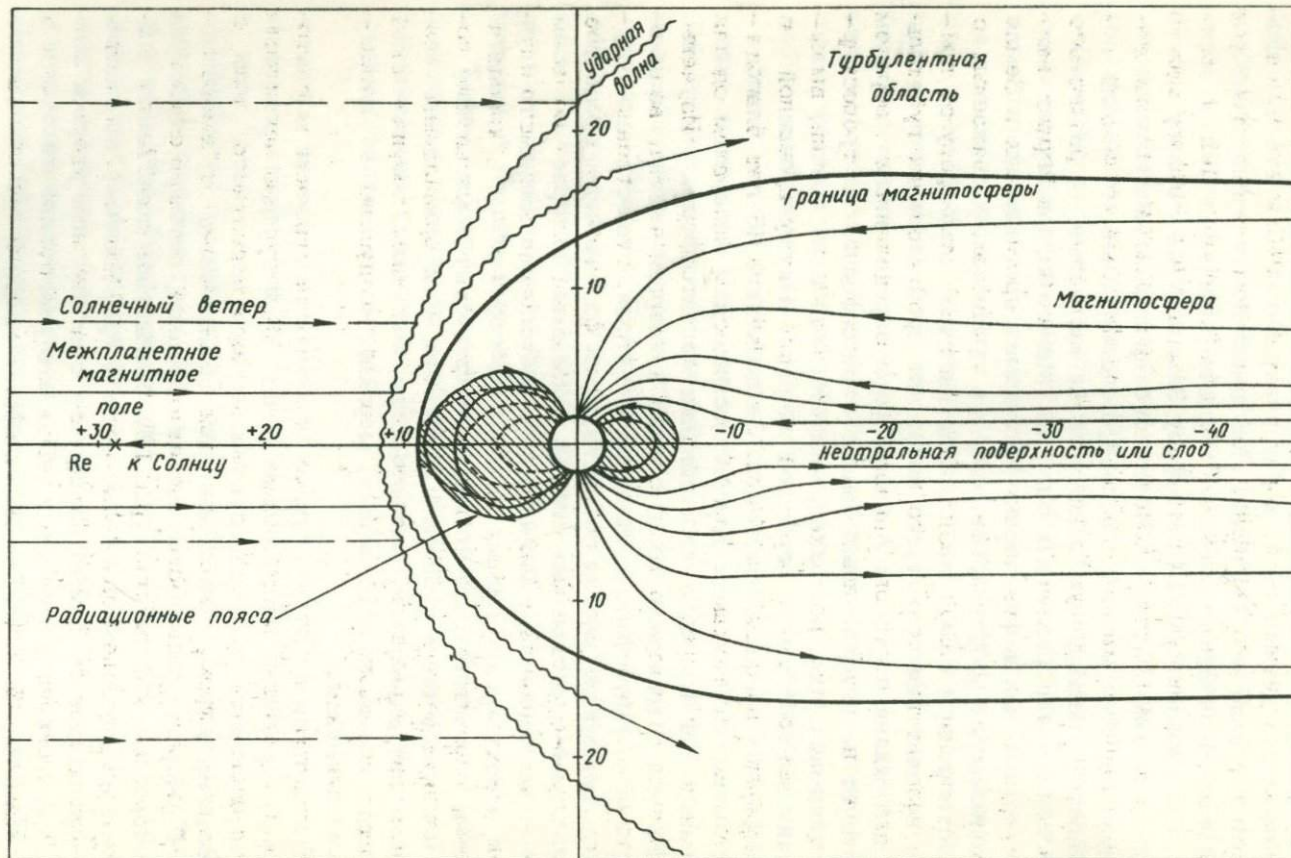


Рис. 10. Магнитосфера Земли

ложен переходный слой сжатой дозвуковой плазмы, магнитооболочка которой ведет себя как эластичная среда, передающая кинетическое давление солнечного ветра на земное магнитное поле. Относительно тонкая граница — магнитопауза — отделяет магнитооболочку от собственно магнитосферы. С солнечной стороны магнитосфера "сплюснута" давлением солнечного ветра, а на противоположной стороне магнитное поле образует длинный "хвост", вытянутый в направлении движения солнечного ветра на расстояния, намного превышающие расстояния до лунной орбиты, — возможно, свыше 1000 Re. Конфигурация магнитосферы непрерывно меняется под воздействием флуктуаций солнечного ветра и некоторых других факторов, например токовых систем в самой магнитосфере. Установлено несколько основных токовых систем: токи магнитопаузы, состоящие из присоединенных или летящих вдоль границы магнитосферы частиц солнечного ветра; токи нейтральной плоскости, разделяющей "хвост" на две части с противоположно направленными полями; круговые токи восточно-западного направления, текущие вокруг Земли и имеющие центр в плоскости магнитного экватора. Они образуются протонами низких энергий, попавшими в магнитное поле. Существует также система токов в земной коре и мантии, индуцированная возмущениями в магнитосфере.

Магнитосферная плазма атмосферного происхождения индуцируется ионизацией верхней атмосферы солнечными ультрафиолетовыми и рентгеновскими лучами и выпадающими авроральными частицами (на высоких широтах), которые могут диффундировать в магнитное поле и распространяться вдоль силовых линий. На более низких широтах частицы остаются захваченными круговым электрическим полем и образуют плазмосферу. Средняя энергия протонов плазмосферы — 1 электрон-вольт, поэтому плазма в этой области называется "холодной". Концентрация частиц практически постоянна до расстояний 3,8 Re. Резкая внешняя граница плазмосферы — плазмопауза — характеризуется резким уменьшением плотности частиц (в 10–100 раз).

"Горячая" плазма в магнитосфере связана с солнечным ветром. Энергия частиц — около 6 килоэлектрон-вольт. Эта плазма сосредоточена в "хвосте" по обе стороны нейтральной плоскости, в так называемом плазмохвосте, который играет основную роль в развитии магнитосферных бурь.

Суббури — наиболее важные возмущения в магнитосфере, при которых магнитная энергия, аккумулированная в "хвосте", внезапно высвобождается и рассеивается. В результате сильного воздействия межпланетной ударной волны сжатия или растяжения, обусловленной вспышкой на Солнце, в магнитосфере

развивается относительно длительный процесс магнитной бури. Уровень освобождающейся энергии может достигать до $1,5 \cdot 10^{13}$ ватт, а вся энергия, внесенная в атмосферу, имеет $1 \cdot 10^{16}$ джоулей (в зоне сияний).

Процессы в магнитосфере отражаются в изменениях магнитного поля на поверхности Земли, где они могут регистрироваться и исследоваться. В зависимости от природы источника возбуждения вариации геомагнитного поля характеризуются частотами от десятков и сотен герц до миллионных долей герца. В настоящее время еще не известна природа всех типов вариаций. Многие важные вопросы морфологии магнитосферы, ее энергетического баланса, взаимосвязи магнитосферы с межпланетным магнитным полем остаются не выясненными и не понятыми. Это требует дальнейшей интенсификации усилий в исследовании данных вопросов, расширения фронта как наземных, так и космических наблюдений за процессами, протекающими в магнитосфере Земли и за ее пределами.

Основная особенность геомагнитного поля средних широт, в пределах которых расположена Белоруссия, состоит в том, что наиболее интенсивные источники возмущений поля находятся вне этой зоны и локализованы либо в экваториальных областях, либо в полярных.

Эта специфика средних широт вызывает особый интерес к результатам исследований геомагнитного поля. Исторически сложилось так, что большинство магнитных обсерваторий расположено в приполярных зонах и процессы, протекающие там, изучены более полно, чем в средних широтах, где сеть обсерваторий относительно редкая.

Исследования геомагнитного поля в Белоруссии ведутся с начала 60-х годов главным образом на геомагнитной обсерватории в Плещеницах. Начаты они в связи с проведением Международного геофизического года. Плещеницкая обсерватория вошла в мировую сеть геомагнитных обсерваторий. Регистрация изучения геомагнитного поля ведется с помощью современной аппаратуры по программам, соответствующим общесоюзным и мировым требованиям. В комплекс исследований входит также изучение земных токов, индуктивно связанных с возмущениями геомагнитного поля и образующих единое электромагнитное поле Земли.

Основные задачи исследований электромагнитного поля в Белоруссии следующие: изучение морфологии и динамики геомагнитного поля и земных токов в средних широтах; изучение характера возмущенности геомагнитного поля в 11-летнем цик-

ле солнечной активности; использование вариаций переменного электромагнитного поля в широком диапазоне частот для изучения электропроводности земной коры и верхней мантии.

В результате исследований установлены основные закономерности изменения естественного электромагнитного поля Земли во времени, изучены годовой и суточный ход компонент поля и динамика геомагнитной возмущенности в 11-летнем цикле солнечной активности, выявлены главные локальные особенности геомагнитного поля, исследованы основные характеристики вариаций поля (амплитуды, частотные спектры и т.п.). На основе совместных исследований с Институтом физики Земли АН СССР, Ленинградским государственным университетом, Институтом земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (ИЗМИРАН) и другими организациями Советского Союза изучены механизмы распространения некоторых геомагнитных возмущений в зависимости от широты. Исследуется вековой ход геомагнитного поля.

Наряду с общими типичными для электромагнитного поля Земли закономерностями его изменения (периодичность, цикличность, синхронность во времени геомагнитных и геоэлектрических возмущений, индуктивный характер электрических и магнитных колебаний) выявлен ряд специфических особенностей динамики электромагнитного поля. Так, на рис.11 показан годовой ход возмущенности геомагнитного поля по наблюдениям в Плещеницах за 10-летний период с 1960 по 1970 г. В 1960 г. возмущенность геомагнитного поля по индексам S , K и A_n (характеристики степени возмущенности) имела два максимума в период равноденствия (апрель, октябрь) и два минимума (январь, август). Такое распределение возмущенности, согласно установившимся представлениям, является "нормальным". В последующие 1961--1963 гг. возмущенность поля резко отличается от "нормальной". В эти годы имеется лишь один максимум возмущенности в июле, т.е. в период, когда плоскости экваторов Земли и Солнца расходятся в наибольшей степени и Земля наиболее удалена от Солнца. С 1964 г. снова восстанавливается двухвершинный ход возмущенности.

Таким образом, объяснение особенностей годового хода возмущенности геомагнитного поля перемещением проекции Земли на солнечном диске и относительно активных гелиоширот (закон Корти) не является оптимальным. Наряду с этим действует механизм солнечной активности иррегулярного характера, который существенно влияет на возмущенность электромагнитного поля. Эти явления имеют важное значение для прогноза возмущенности электромагнитного поля во времени.

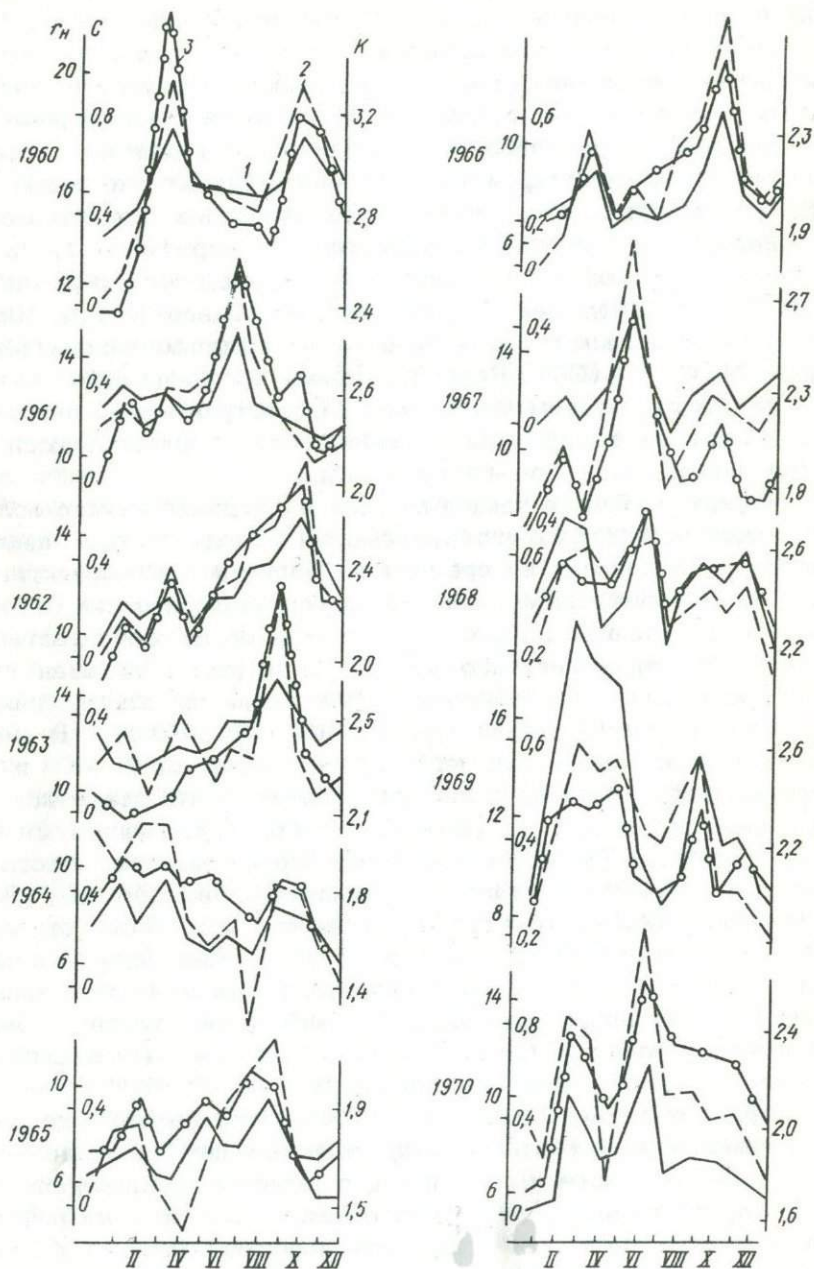


Рис.11. Годовой ход геомагнитной возмущенности: 1 -- C; 2 -- K; 3 -- Γ_H

В данном аспекте важно также изучение распределения возмущенности в 11-летнем цикле солнечной активности. На рис.12 представлены данные по солнечной активности (числа Вольфа W) и геомагнитной возмущенности (индексы C , K и Γ_H) за 10 лет. Здесь наблюдается прямая корреляция солнечной активности с характеристиками геомагнитной возмущенности. Тем

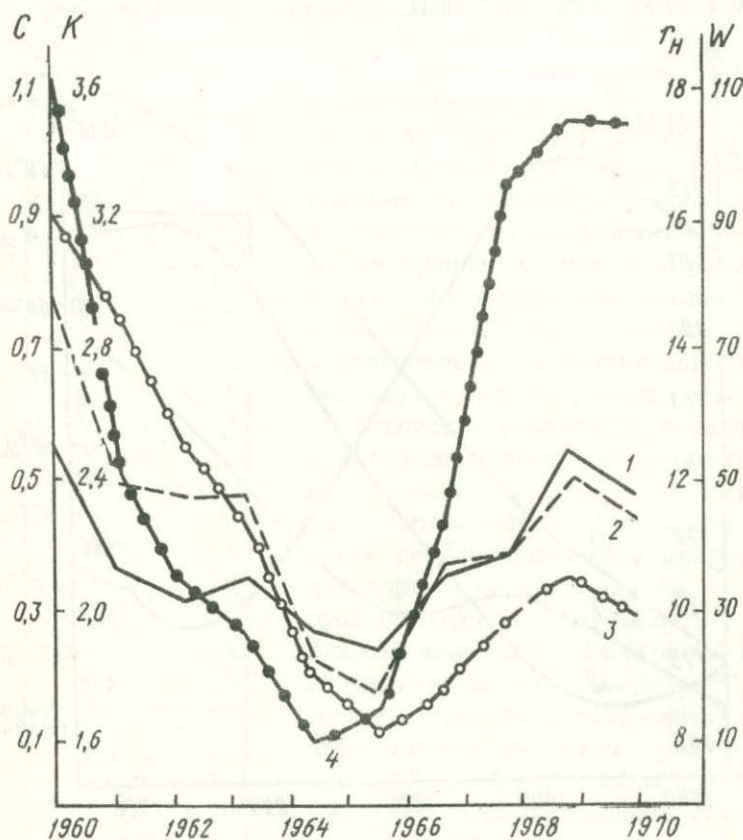


Рис.12. Среднегодовые значения характеристик геомагнитной активности (1 -- C , 2 -- K , 3 -- Γ_H) и чисел Вольфа (4 -- W)

не менее обращает на себя внимание отставание на один год минимума геомагнитной возмущенности от минимума солнечной деятельности (1964--1965 гг. -- минимум 19-го цикла солнечной активности). Эта важная особенность взаимосвязи солнечной и магнитной активности, вероятно, может быть объяснена тем, что в начале каждого 11-летнего цикла солнечной деятельности, т.е. на фазе его минимума, солнечные пятна по-

являются в сравнительно высоких широтах Солнца ($35-40^\circ$). Затем идет не только увеличение числа пятен, но и смещение их к экватору Солнца, что обуславливает более интенсивное их воздействие на магнитное поле Земли.

Влияние внутренних факторов Земли на геомагнитное поле проявляется в вековых вариациях его постоянной части. По данным обобщений одиночных измерений геомагнитного поля в

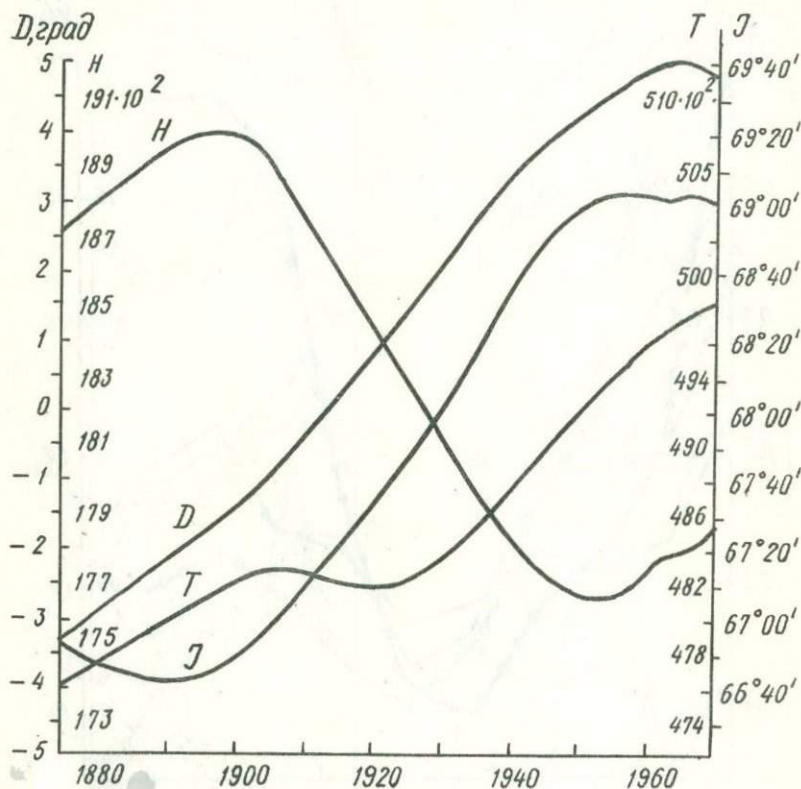


Рис.13. Вековые вариации элементов геомагнитного поля в Минске: D — склонение, J — наклонение, H — горизонтальная составляющая, T — полный вектор напряженности геомагнитного поля

районе Минска (пункты Главной геофизической обсерватории, ИЗМИРАН и др.) и систематических наблюдений обсерватории в Плещеницах установлены значительные изменения величин и направления его составляющих (рис. 13). За период с 1875 г. величина напряженности полного вектора T возросла на 2100 гамм, т.е. почти на 5% общей напряженности магнитного поля Земли. Магнитное склонение также непрерывно изме-

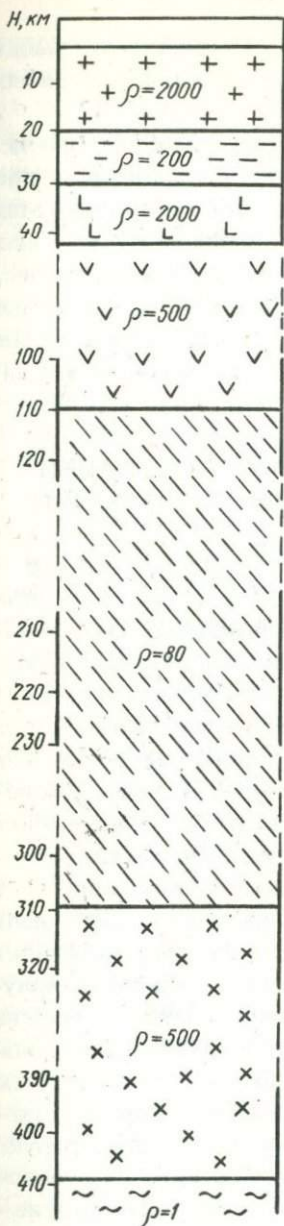


Рис.14. Геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии по данным глубинных магнитотеллурических зондирований на Белорусском массиве (ρ — электрическое сопротивление среды, ом·м)

нялось и примерно в 1913--1915 гг. из западного перешло в восточное, а к концу 60-х годов снова появился западный дрейф магнитной стрелки. При этом вековой ход склонения достигал максимальной величины — 8 мин/год. Изменяются также величины и направления других элементов геомагнитного поля. Сравнение данных с наблюдениями других обсерваторий (Ленинград, Одесса, Немигк) показывает, что это явление, очевидно, связано с гидромагнитным динамо на границе мантии и ядра Земли. В этой связи изучение вековых вариаций геомагнитного поля может дать дополнительный материал для изучения внутреннего строения Земли.

Данные о вариациях переменного электромагнитного поля в диапазоне от нескольких секунд до суточной волны использованы также для изучения геоэлектрического разреза земной коры и верхней мантии на Белорусском массиве, в Припятской и Балтийской впадинах. Построены и геоэлектрические разрезы, характеризующие электропроводность среды до глубины нескольких сотен километров (рис.14). На Белорусском массиве выделены границы раздела геоэлектрически неоднородных сред на глубинах (км): 0,5--1,0; 40--50; 100--120; 400--410 (проводящий слой мантии). Эти исследования используются для изучения планетарных физических свойств твердых оболочек Земли, а также для разведочных целей. В этой связи исследован характер возмущений, вносимых в поле локальными неоднородностями геологического разреза, на природных моделях Припятской впадины (Речицкая струг-

тура, северный борт Припятской впадины). Разработана также автоматизированная система интерпретации магнитотеллурической информации на ЭВМ.

Перспективы дальнейших исследований электромагнитного поля в Белоруссии связаны с участием Института геохимии и гес-
физики АН БССР в международном проекте "Международные исследования магнитосферы". В рамках этого проекта будут продолжены исследования, проводимые по проекту "Геомагнитный меридиан", и, кроме того, начаты новые работы по изучению тонкой структуры магнитосферы, связанные с синхронными наблюдениями возмущений в магнитосфере на спутниках и наземными обсерваториями.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Современный прогресс в области изучения физики Земли и околоземного пространства в значительной степени определяется уровнем автоматизации научных экспериментов как непосредственно на поверхности Земли, так и в околоземном пространстве. Большие потоки информации при этих исследованиях в той или иной степени связаны с физическими свойствами и процессами различных слоев магнитосферы и ионосферы Земли. Как правило, эти процессы описываются в высшей степени сложными математическими закономерностями, аналитическое решение которых не всегда возможно. Более того, такие сложные магнитогидродинамические явления, происходящие в ионосфере и магнитосфере, или реологические, происходящие в недрах Земли, описываются нелинейными уравнениями математической физики, для которых аналитическим путем в ряде случаев нельзя получить решения. Очевидно, что эти задачи могут быть решены лишь на базе автоматизированных систем переработки огромного объема экспериментальной информации. Основу этих систем составляют цифровые вычислительные машины с набором специального периферийного оборудования и цифровых регистрирующих станций. Использование ЭВМ как главного звена в автоматизированных системах позволяет резко повысить оперативность переработки экспериментальной информации и применять тонкие численные методы анализа, которые практически исключаются при ручных и полуавтоматических методах обработки. До недавнего времени вычислительные машины в геофизике применялись для решения задач с большим объемом вычислений при небольшом объеме конечных данных. Однако интенсификация геофизических исследований и возрастающие требования к качеству

извлекаемых данных ставят на повестку дня необходимость создания развитых автоматизированных систем анализа разнородной геофизической информации. Это связано еще и с тем, что на фоне бурного развития науки, когда непрерывно формируются новые научные направления, будет ощущаться дефицит в научных кадрах.

В Отделе физики Земли к настоящему времени накоплен опыт в разработке автоматизированных систем анализа геофизических данных. В 1974 г. завершена разработка комплекса устройств автоматического съема с датчиков и накопления сейсмологической информации. Указанный комплекс включает многоканальный импульсный накопитель сейсмических колебаний, а для обработки накапливаемой информации разработана система ввода и отображения данных в ЭВМ "Минск-32".

Одновременно с созданием технических средств разрабатывались проблемно-ориентировочные программы для анализа сейсмических, гравитационных, электромагнитных и ионосферных данных. В частности, программы автоматической обработки сейсморазведочных данных, внедренные в комплексной нефтегазовой геофизической экспедиции, резко повышают геологическую эффективность метода. Широко применяются программы по статистической обработке данных гравитационной разведки. Оригинальные идеи, заложенные в этих программах, позволяют ставить задачи, решение которых ранее было невозможно, а также повысить производительность труда.

В связи с внедрением в производство цифровых электроразведочных станций (ЦЭС) Отдел физики Земли совместно с Белорусским научно-исследовательским геологоразведочным институтом с 1973 г. разрабатывает техническое обеспечение системы "ЦЭС—устройство согласования—ЭВМ", а также ее внутреннее математическое обеспечение. Кроме того, создано проблемное математическое обеспечение для ряда электроразведочных методов. Так, комплекс программ "Автоматизированная система обработки магнитотеллурической информации", разработанный совместно с Белорусским научно-исследовательским геологоразведочным институтом, демонстрировался на ВДНХ СССР. Практически завершены работы по созданию автоматизированной системы анализа данных электромагнитных зондирований. Система представляет собой синтез технического и математического обеспечения и полностью автоматизирует экспериментальный цикл, состоящий из этапов: восприятия, осуществляемого датчиками естественного электромагнитного поля; подготовки экспериментальных реализаций (дискретизации

и квантования, кодирования, ввода информации в ЭВМ, локализации полезной информации, редакции цифровых массивов; обработки данных с целью определения геоэлектрических характеристик верхней части разреза земной коры).

Отмеченные результаты исследований при их высокой практической значимости представляют собой лишь первые шаги в разработке развитых автоматизированных систем анализа данных геофизических экспериментов. Эти системы должны обеспечить обработку данных не только точечных экспериментальных наблюдений, но и геофизических станций, расположенных на больших расстояниях.

Особенно велика роль автоматизации в осуществлении программы "Интеркосмос", где наряду с наземными станциями для накопления и передачи данных на ЭВМ будут использованы спутники. Решающее значение имеет автоматизация сейсмологических исследований в Единой системе сейсмических наблюдений Советского Союза (ЕССН). Это связано с большими научными и практическими задачами, выполняемыми на основе данных ЕССН (прогноз землетрясений, изучение внутреннего строения Земли и земной коры и т.д.). Эффективность исследований по многим сейсмологическим программам зависит главным образом от оперативности обмена экспериментальной информацией, регистрируемой станциями СССР, и синхронного анализа этой информации в масштабе времени, максимально приближенном к реальному. Разработка соответствующей экспериментальной автоматизированной системы на полигоне, включающем опорные станции Советского Союза Минск--Пулково--Обнинск, позволит, помимо оперативного обмена данными и их обработки, перейти от локальных вычислительных центров ЕССН к использованию многомашинных вычислительных комплексов, т.е. к созданию сети ЭВМ.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО

Отдел физики Земли участвует в решении различных вопросов прикладного характера. Сотрудники консультируют заинтересованные организации и оказывают помощь во внедрении выполненных разработок электромагнитного комплекса. Изучается естественное сейсмическое поле при проектировании и строительстве промышленных сооружений, производится эталонировка геофизической аппаратуры и т.д. Обсерваторские наблюдения позволяют учитывать вариации магнитного поля при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых методами магниторазведки.

Отделом проводятся исследования по хозяйственным договорам с организациями Управления геологии при СМ БССР и треста "Белгеофизразведка" Министерства нефтедобывающей промышленности БССР с целью разработки оптимальной методики полевых исследований и интерпретации сейсморазведочных и магнитотеллурических данных при поисках и разведке месторождений нефти и газа. Следует выделить три наиболее плодотворных направления исследований:

1) разработка алгоритмов и программ обработки сейсморазведочной и магнитотеллурической информации на ЭВМ. Программы анализа сейсморазведочных данных и автоматизированная система обработки магнитотеллурической информации на ЭВМ внедрены не только в различных геофизических учреждениях республики, но и за ее пределами. Использование предложенных методик обработки геофизических данных позволяет снизить затраты при поисках месторождений нефти и извлечь более полную информацию из первичных материалов;

2) разработка статистических методов по изучению гравитационных и магнитных полей с целью выделения региональных составляющих и локальных аномалий, отражающих строение соответствующих геологических структур на территории Белорусского массива и Припятской впадины;

3) изучение динамики формирования и распространения сейсмических волн в реальных средах по данным вертикального сейсмического профилирования (ВСП). До настоящего времени при обработке данных ВСП использовались в основном кинематические особенности регистрируемых колебаний в среде. Институтом предложены способы изучения динамических характеристик сейсмических колебаний, которые позволяют не только уточнить параметры реальной среды, но и наметить контуры оптимальной методики получения и интерпретации данных сейсморазведки в условиях Припятской впадины. Разработаны основные положения автоматизированной системы обработки данных вертикальных сейсмических зондирований среды на ЭВМ с целью изучения кинематических и динамических характеристик сейсмических колебаний и среды, в которой они распространяются. Это перспективное и новое направление будет развиваться и в последующие годы.

Поиски и разведка малоамплитудных нарушений и структур осадочного чехла, перспективных на нефть и газ, являются в геофизике очень важной проблемой. С этими структурами в значительной степени связывается прирост запасов нефти в

ближайшие годы. Исследования геофизиков института показали, что существующие приемы получения первичной сейсмологической информации недостаточно эффективны. Предлагаются новые методы получения, обработки и анализа сейсмических данных на основе математического моделирования.

Результаты обсерваторских исследований электромагнитного поля и сейсмичности Земли широко внедряются в научные исследования различных учреждений страны и зарубежных стран. Регулярно осуществляется международный обмен результатами наблюдений через Международный центр данных Б₂ (Москва).

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективы геофизических исследований определяются как общенаучными, так и региональными задачами, связанными с выявлением минерально-сырьевых ресурсов региона. Исследования должны вестись по следующим трем основным направлениям:

- 1) комплексное геофизико-геодинамическое изучение строения, физических свойств глубоких зон земной коры и мантии северо-западного региона СССР, взаимосвязи глубинных и приповерхностных геологических структур и геофизических процессов;
- 2) теоретическое и экспериментальное изучение физических полей Земли и околоземного пространства и их взаимодействия;
- 3) разработка и усовершенствование методик разведочной геофизики, направленных на поиски и разведку месторождений полезных ископаемых.

По первому направлению будут продолжаться комплексные геофизические исследования методами сейсмологии, магнитометрии, гравиметрии, магнитотеллурических зондирований, глубинных сейсмических зондирований и др. в пределах главных геоструктурных элементов территории республики и смежных регионов. В их рамках будет осуществлено изучение глубинных геолого-геофизических разрезов, структурных особенностей глубинных границ земной коры, состава и физических свойств земной коры и мантии Земли, мобильности ее блоков, глубинной разломной тектоники, взаимодействия земной коры и мантии Земли в связи с выяснением влияния глубинного строения и процессов на закономерности формирования и строения геологических структур и связанных с ними месторожде-

ний полезных ископаемых. На основе комплексных геофизических и геологических исследований будут построены модели глубинного геологического строения геоструктурных элементов территории БССР и смежных регионов, что явится существенным вкладом в изучение геологии западного региона как составной части Восточно-Европейской платформы, а также установить геофизические критерии закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых, в том числе глубинных.

По второму направлению в соответствии с программой международных исследований магнитосферы большое внимание будет сосредоточено на изучении влияния солнечной активности в средних широтах на характеристики и динамику переменного электромагнитного поля Земли в смежных 11-летних циклах солнечной активности. Будут даны количественные характеристики взаимосвязи гелиоактивных, геоэлектрических и геомагнитных компонент и рассмотрена физика процессов. Изучение длительных рядов наблюдений переменного электромагнитного поля, их статистическая обработка, выявление тенденций развития электромагнитных процессов во времени и позволит подойти к проблеме их прогнозирования. С другой стороны, будут продолжены исследования влияния геологических неоднородностей земных недр на электромагнитное поле.

В области изучения взаимосвязи геофизических процессов Земли и околоземного пространства будут продолжены исследования воздействия землетрясений на физические поля околоземного пространства (электромагнитное, барическое, ионосферу). Теоретическое и практическое значение имеет изучение влияния неравномерности скорости вращения Земли и других космических факторов на накопление напряжений в зонах разрывных нарушений.

Исследования взаимодействий биологических объектов, в том числе человека, с переменным электромагнитным полем Земли получат дальнейшее развитие на основе совместных исследований института и медицинских учреждений республики.

По третьему направлению — разведочному — необходимо расширить научно-исследовательскую работу по научному обобщению и интерпретации геофизических данных, совершенствовать методики полевых работ и анализа информации, в особенности в области сейсморазведки, а также разработки прямых геофизических методов поисков нефтяных месторождений, металлов, минерализованных и пресных вод, нерудных полезных ископаемых и др.

Постановка и разработка указанных задач требует существенного расширения экспериментальных исследований путем

развития обсерваторной базы в Плещеницах, а также создания новых геофизических стационаров, расположенных в различных геоструктурных условиях, в частности в Брестской впадине, в восточной части Припятской впадины. На них должна опираться сеть геофизических полигонов с периодическим повторением комплекса геофизических и геодезических (повторные нивелировки) наблюдений. Их задача — способствовать изучению геофизико-геодинамических явлений как функций глубинных процессов земной коры и мантии.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

А н а н ь и н И.В. Связь сейсмичности Русской платформы с современными тектоническими движениями. В кн.: Современные движения земной коры, №3. М., "Наука", 1968.

А с т а п е н к о В.Н., Е м е л ь я н о в А.П. Алгоритмы обработки результатов электромагнитных зондирований в ближайшей зоне. В кн.: Припятская впадина. Геологические результаты, методика и цифровая обработка геофизических исследований. Минск, 1974.

Б а б у ш н и к о в М.С. К вопросу о геомагнитной активности по наблюдениям магнитной обсерватории "Плещеницы" (Минск). В кн.: Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). Минск, 1966.

Б а б у ш н и к о в М.С. Геомагнитные исследования. В кн.: Вопросы физики околоземного пространства и земных недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1972.

Б а б у ш н и к о в М.С. Возмущенность геомагнитного поля за 1960—1967 гг. по наблюдениям магнитной обсерватории "Плещеницы" (Минск). ДАН БССР, т.14, №8, 1970.

Б о б о р ы к и н А.М. Исследования возможности передачи энергии землетрясений посредством гравитационно-акустических колебаний, генерированных вблизи эпицентра землетрясений. ДАН БССР, т.16, №4, 1972.

Б о б о р ы к и н А.М., Е м е л ь я н о в а К.П. Выделение вариации параметров ионосферы, вызванных случайными факторами, в связи с геодинамическими и гелиофизическими факторами. В кн.: Вопросы околоземного пространства и земных недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1972.

Б о б о р ы к и н А.М., Е м е л ь я н о в а К.П., Д о р о ш к е в и ч А.И., П а п у ш и н а Л.Б. О воздействии землетрясений на ионосферу. В кн.: Вопросы околоземно-

го пространства и земных недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1972.

Б о б о р ы к и н А.М., К л у ш и н С.В., Е м е л ь я н о в а К.П. Модифицированные фильтры. ДАН БССР, т.16, №9, 1972.

Б о б о р ы к и н А.М. О воздействии землетрясений на верхнюю атмосферу посредством гравитационно-акустических волн. В кн.: Проблемы геохимического и геофизического изучения земной коры. Минск, "Наука и техника", 1974.

Б о б о р ы к и н А.М., Б у л ы г и н Н.И., В а г и н В.Б., М и х н е н о к М.И., Т р о с т н и к о в В.Н. Некоторые результаты изучения строения земной коры и верхней мантии по методике сейсмологии взрывов. В кн.: Вопросы геологии Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1973.

Б о б о р ы к и н А.М. Механизмы передачи энергии землетрясений в ионосферу посредством гравитационно-акустических колебаний. В кн.: Геохимическое и геофизическое изучение территории Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1974.

Б о б о р ы к и н А.М. Неравномерность вращения Земли и зоны современного развития тектонических напряжений. ДАН БССР, т.18, №2, 1975.

Б о н д а р е н к о Б.В. Тектоническое расчленение складчатых комплексов глубокого докембрия центральных районов Русской плиты. "Советская геология", №9, 1968.

Геология СССР, т.3 (Белорусская ССР). М., 1971.

Геофизические методы поисков и разведки нефти и газа в Припятской впадине. Минск, "Наука и техника", 1970.

Г р и ш к о А.И. Опыт классификации гравимагнитных аномалий по степени перспективности на ильменит-магнетитовые руды. В кн.: Проблемы геохимического и геофизического изучения земной коры. Минск, "Наука и техника", 1974.

Г р и ш к о А.И. Геолого-геофизическая характеристика и прогнозная оценка Околовского железорудного месторождения Белорусского массива. В кн.: Вопросы геологии Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1974.

Г р и ш к о А.И. Опыт классификации гравитационных аномалий по степени перспективности на ильменит-магнетитовые руды. В кн.: Проблемы геохимического и геофизического изучения земной коры. Минск, "Наука и техника", 1974.

Донабедов А.Т., Сидоров В.А. О соотношениях между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами территории европейской части СССР. В кн.: Современные движения земной коры, №1. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Елисеев Б.А., Солдатов В.Н. К вопросу об организации автоматизированной системы обработки геолого-геофизической информации. В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, 1973.

Емельянов А.П. Линейное соответствие к методу МТЗ. В кн.: Материалы II научной конференции молодых геологов Белоруссии. Минск, 1968.

Емельянов А.П. Эллипсы поляризации в магнитотеллурической разведке. В кн.: Материалы II научной конференции молодых геологов Белоруссии. Минск, 1968.

Емельянов А.П., Кузнецов Ю.Н. Некоторые методы выделения скрытых периодичностей в магнитотеллурических методах. В кн.: Строение и физика глубинных недр западного региона СССР. Минск, "Наука и техника", 1969.

Емельянов А.П. Некоторые вопросы устойчивости обработки данных магнитотеллурических методов при изучении глубинного строения земной коры. В кн.: Вопросы физики околоземного пространства и земных недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1972.

Емельянов А.П., Кузнецов Ю.Н., Леванюк Е.Е. Автоматизированная система обработки результатов измерений естественных электромагнитных полей. В кн.: Вопросы физики околоземного пространства и земных недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1972.

Емельянов А.П., Кузнецов Ю.Н., Леванюк Е.Е. Последовательный регрессионный анализ геофизических полей. ДАН БССР, т.16, №5, 1972.

Емельянов А.П., Леванюк Е.Е. Автоматизация анализа экспериментальной магнитотеллурической информации. В кн.: УП Всесоюзная научно-техническая геофизическая конференция (Львов, 1972). Минск, 1972.

Емельянов А.П. Определение тензора импедансов в методе МТЗ при помощи сопряженных матриц. В кн.: Вопро-

сы нефтяной геологии и геофизики БССР. Минск, 1973.

Емельянов А.П., Астапенко В.Н. Некоторые вопросы устойчивости алгоритмов обработки зондирования становления точечного. В кн.: Припятская впадина. Геологические результаты, методика и цифровая обработка геофизических исследований. Минск, 1974.

Емельянов А.П., Кузнецов Ю.Н. Проблемы автоматизации анализа результатов магнитотеллурических исследований. В кн.: Вопросы геологии Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1974.

Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). Минск, Изд-во АН БССР, 1966.

Клушин С.В., Боборыкин А.М., Федотов Ю.А. К методике исследования неоднородных сред методом отраженных волн. В кн.: Вопросы околоземного пространства и земных недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1972.

Клушин С.В., Боборыкин А.М. Развернутые спектральные характеристики сейсмологических моделей. В кн.: Вопросы нефтяной геологии и геофизики БССР. Минск, 1973.

Комплексное геолого-геофизико-геохимическое и гидрогеологическое изучение земной коры Белоруссии. Минск, 1969.

Кондратюк И.К., Боборыкин А.М. Связь между солнечной активностью и заболеваемостью инфарктом миокарда в г.Минске. "Здравоохранение БССР", №2, 1973.

Кравцова М.К., Никифорова Н.Н. Изучение суточных вариаций естественного электромагнитного поля в целях глубинных магнитотеллурических зондирований на геофизической станции АН БССР "Плещеницы". В кн.: Магнитотеллурические методы изучения земной коры и верхней мантии. М., "Наука", 1967.

Кудельский А.В., Лукашев К.И. Образование и миграция нефти (термобарические аспекты). Минск, 1974.

Кузнецов Ю.Н., Емельянов А.П. Тектоническое строение северо-западной части Припятской впадины по данным метода теллурических поисков. Материалы 1 научной конференции молодых геологов Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1965.

Кузнецов Ю.Н. Стратиграфическая принадлежность опорного теллурического горизонта северо-западной части Припятской впадины. В кн.: Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы". Минск, 1966.

Кузнецов Ю.Н., Емельянов А.П., Русецкая Л.С. Статистический анализ геофизических данных на территории Белорусского массива. ДАН БССР, т.14, №9, 1970.

Кузнецов Ю.Н. Магнитотеллурические исследования. В кн.: Вопросы физики околоземного пространства и земных недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1972.

Кузнецов Ю.Н. Результаты магнитотеллурических исследований на территории Белоруссии. В кн.: Вопросы геологии Белоруссии. Минск, 1974.

Кузнецов Ю.Н., Емельянов А.П. Проблемы автоматизации анализа результатов магнитотеллурических исследований. В кн.: Вопросы геологии Белоруссии. Минск, 1974.

Кузнецов Ю.Н., Русецкая Л.С. Автоматическое построение интерполяционных карт с помощью ЭВМ. В кн.: Припятская впадина. Геологические результаты, методика и цифровая обработка геофизических исследований. Минск, 1974.

Липская Н.В., Никифорова Н.Н., Кравцова М.К. К вопросу о влиянии местных условий на результаты регистрации земных токов на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). В кн.: Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). Минск, 1966.

Липская Н.В., Никифорова Н.Н., Кравцова М.К. Суточные вариации земных токов по наблюдениям геофизической станции "Плещеницы" (Минск). В кн.: Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). Минск, 1966.

Липская Н.В., Денискин Н.А., Никифорова Н.Н., Хотько Ж.П., Кузнецов Ю.Н. Магнитотеллурические исследования в западной части Русской платформы. В кн.: Естественное электромагнитное поле и исследования внутреннего строения Земли. М., "Наука", 1971.

Липская Н.В., Бабушников М.С., Владимиров Н.П., Денискин Н.А., Кравцо-

в а М.К., Кузнецов Ю.Н., Никифорова Н.Н., Хотько Ж.П. Вариации естественного электромагнитного поля и их связь с электропроводностью земных недр. Минск, "Наука и техника", 1972.

Лукашев К.И., Буялов Н.И. Нефтегазоносность недр Белорусской ССР. "Советская геология", №9, 1966.

Лукашев К.И., Махнач А.С. Припятская впадина — сокровищница недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1966.

Лукашев К.И., Лапуть В.А., Семячко Р.Я., Буялов Н.И. Нефть Белоруссии (потенциальные нефтегазоносные районы). Минск, 1969.

Матвейков Г.П., Кондратюк И.К., Бобрыкин А.М., Хотько Ж.П., Емельянова К.П. Влияние гелиофизических и геомагнитных факторов на заболеваемость инфарктом миокарда. ДАН БССР, т.17, №9, 1973.

Махнач А.С. Железородные формации докембрия Белоруссии. Минск, 1974.

Никифорова Н.Н., Кравцова М.К. Методика наблюдений и обработки суточных вариаций электромагнитного поля Земли для целей глубинных магнитотеллурических зондирований. В кн.: Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). Минск, 1966.

Никифорова Н.Н., Кравцова М.К. Сопоставление солнечно-суточных вариаций геомагнитного поля и земных токов по наблюдениям геофизической станции "Плещеницы" (Минск). В кн.: Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). Минск, 1966.

Солдатов В.Н., Апарин Г.П. Устройство сопряжения для ввода сейсморазведочной информации в ЭВМ "Минск-32". В кн.: Тезисы докладов и сообщений У научной конференции молодых геологов Белоруссии. Минск, 1973.

Солдатов В.Н., Полунин Ю.П. Организация автоматизированного канала регистрации данных при сейсмических исследованиях. В кн.: Проблемы геохимического и геофизического изучения земной коры. Минск, 1974.

Солдатов В.Н. Некоторые вопросы выделения сигналов землетрясения. Вестн АН БССР, серия физ.-мат. наук, №6, 1974.

Хотько Ж.П., Бондаренко Б.В. Основные тектонические структурные элементы Белорусской ССР по геофизическим данным. ДАН СССР, т.56, №4, 1956.

Хотько Ж.П. К вопросу строения кристаллического фундамента Припятской впадины. Ученые записки Белгосунiversитета, серия геол., вып.43. Минск, 1958.

Хотько Ж.П. Исследования по программе Международного геофизического года в Белоруссии. Вестн АН БССР, серия физ.-техн. наук, №1, 1959.

Хотько Ж.П. Локальные гравитационные аномалии и их значение для изучения структур осадочного покрова в Припятской впадине. Труды ИГН АН БССР, вып.2. Минск, 1959.

Хотько Ж.П. Результаты применения геофизических съемок при геологическом картировании кристаллического фундамента Белорусско-Литовского массива. Вестн АН БССР, серия физ.-техн. наук, №4, 1959.

Хотько Ж.П., Бондаренко Б.В. Основные геологические результаты и задачи геофизических исследований в Припятской впадине. В кн.: Геологическое строение и нефтегазоносность восточных областей Украины. Киев, 1959.

Хотько Ж.П., Бондаренко Б.В. Основные черты тектоники Брестской впадины. Труды ИГН АН БССР, вып.3. Минск, 1961.

Хотько Ж.П. Исследования по программе Международного года спокойного солнца в АН БССР. Вестн АН БССР, серия физ.-техн. наук, №3, 1964.

Хотько Ж.П. Геолого-геофизические предпосылки и направление изучения докембрия БССР методами разведочной геофизики. В кн.: Геология и перспективы металлоносности докембрия Белоруссии и смежных регионов. Минск, 1965.

Хотько Ж.П. Геофизическая станция "Плещеницы" (Минск) и направления исследований. В кн.: Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). Минск, 1966.

Хотько Ж.П. Глубинная структура земной коры территории БССР по геофизическим данным. ДАН БССР, т.10, №3, 1966.

Хотько Ж.П. О рельефе поверхности Мохоровичича и

соотношениях структур земной коры и подкорового слоя на территории БССР. В кн.: Изучение электромагнитного поля Земли на геофизической станции "Плещеницы" (Минск). Минск, 1966.

Хотько Ж.П. Результаты и направление изучения глубинных зон земной коры и верхней мантии Земли в Белоруссии. В кн.: Строение и физика глубинных недр западного региона СССР. Минск, 1969.

Хотько Ж.П. Геофизическая обсерватория в Плещеницах — новое научное учреждение Белоруссии. В кн.: Вопросы физики околоземного пространства и земных недр Белоруссий. Минск, "Наука и техника", 1972.

Хотько Ж.П. Сейсмологические исследования в Белоруссии. В кн.: Вопросы физики околоземного пространства и земных недр Белоруссии. Минск, "Наука и техника", 1972.

Хотько Ж.П. Глубинное строение территории Белоруссии и Прибалтики по данным геофизики. Минск, "Наука и техника", 1974.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Научные горизонты и прикладные аспекты геофизики . . .	5
Международные геофизические программы и проекты	8
Развитие геофизических исследований в Белоруссии	9
Геотектонические структуры и глубинное строение земной коры	10
Изучение нефтегазоносных структур	18
Металлоносность докембрия	20
Сейсмологические исследования земной коры и мантии . .	22
Взаимосвязь физических полей Земли с внутриземными и космическими процессами	25
Изучение естественного электромагнитного поля Земли . .	28
Автоматизация геофизических исследований и анализа экс- периментальной информации	38
Внедрение результатов геофизических исследований в про- изводство	40
Основные направления дальнейших геофизических исследо- ваний	42
Рекомендуемая литература	45

Константин Игнатьевич Лукашев
Жозеф Павлович Хотько

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМНЫХ НЕДР
И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Редактор Е.Г.Волквич
Корректор Г.Е.Старобинец
Техн.редактор Г.А.Кузьмиченко

АТ 17055. Подписано к печати 12.11.1976 г. Бумага тип. №1.
Формат 60x90 1/16. Печ.л. 3,5. Уч.-изд. 2,9 л. Изд.зак.276.
Тип.зак. 47. Тираж 310 экз. Цена 20 коп.

Издательство "Наука и техника". Минск, Ленинский пр., 68.
Ротапринт Института геохимии и геофизики АН БССР.
Минск, Ленинский пр., 68.

208.

1727