

## О роли Марка Наумовича Бердичевского в геоэлектрических исследованиях коры и мантии Земли

П.Ю. Пушкарев, Н.С. Голубцова  
Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, pavel\_pushkarev@list.ru

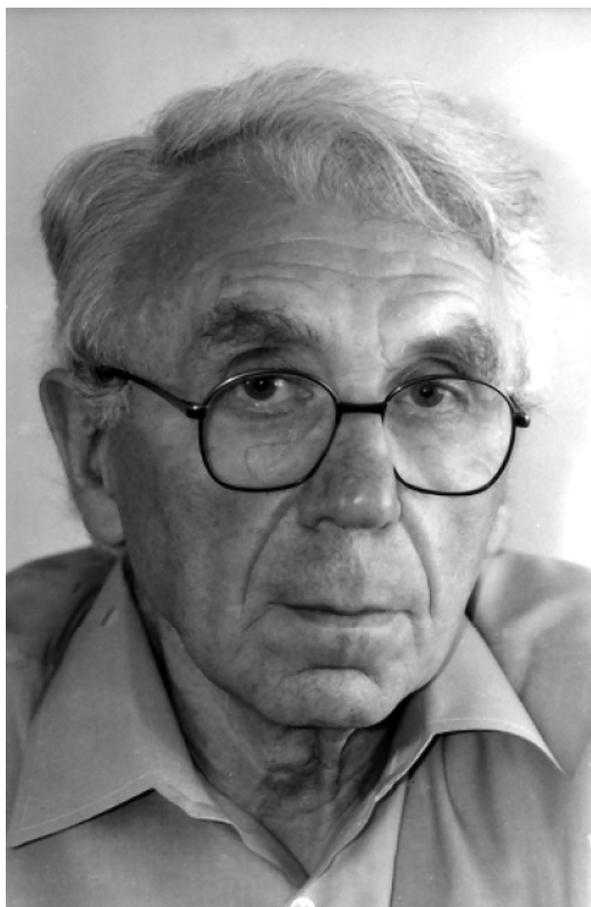
---

### АННОТАЦИЯ

Доклад посвящён создателю теории и практики метода магнитотеллурического зондирования Земли Марку Наумовичу Бердичевскому (1923-2009). Кратко излагается его биография, включая ранние годы, участие в Великой Отечественной войне, обучение в МГУ, работу во ВНИИГеофизике и дальнейшую научную и преподавательскую деятельность в МГУ. Рассматривается вклад М.Н. Бердичевского в создание магнитотеллурических методов, разработку методики интерпретации электромагнитных зондирований горизонтально-неоднородных сред, изучение коровой электропроводности на территории СССР, построение геоэлектрических моделей коры и мантии Земли ряда регионов.

**Ключевые слова:** М.Н. Бердичевский, магнитотеллурическое зондирование, электропроводность, земная кора

---



Учёный с мировым именем, профессор Московского университета Марк Наумович Бердичевский был удивительно талантливым, интеллигентным и всесторонне развитым человеком, создавшим новое направление в геофизической науке и воспитавшим множество учеников.

### РАННИЕ ГОДЫ

Марк Бердичевский родился 2 апреля 1923 года в Киеве, в семье педагогов. Отец, Бердичевский Наум Маркович (1888-1959), был доцентом кафедры электромеханики Киевского Политехнического института. Мать, Бердичевская Софья Марковна (1895-1964), многие годы проработала учителем русского языка и литературы в старших классах. Вероятно, именно в семье и были заложены в юноше любовь к литературе, поэзии, и, в то же время, стремление к познанию природы вещей, явлений. Возможно, это сочетание и привело Марка Бердичевского в геологическую науку, и конкретно в геофизику: ведь каждый геофизик – это исследователь процессов, происходящих в недрах Земли, а в душе – почти всегда романтик и, хоть чуточку, поэт. Уже в молодости он писал стихи, входил в кружок молодых поэтов наряду с Наумом Коржавиным, Семёном Гудзенко, Яковом Гальпериным. Хотя позднее он выбрал служение науке, увлечение поэзией осталось с ним на всю жизнь.

В 1940-м году Марк Бердичевский окончил школу и поступил на геолого-географический факультет Киевского государственного университета имени Т.Г. Шевченко (КГУ). Перед началом Великой Отечественной войны КГУ был третьим по величине университетом в СССР (после Москвы и Ленинграда).

### ВЕЛИКАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ВОЙНА

В 1941-м году, сразу после объявления войны, Марк Бердичевский вместе с товарищами отправился на призывной пункт. После

прохождения медицинской комиссии он был направлен в военно-авиационное училище.

С июня 1941 г. по сентябрь 1942 г. Марк Бердичевский – курсант Тбилисского военно-авиационного училища (по подготовке младших авиаспециалистов). Затем переведён для дальнейшего обучения в Черниговскую военно-авиационную школу пилотов ВВС Красной Армии, которая была передислоцирована в Кызыл-Арват Туркменской ССР. Парк самолетов, на которых проходили обучение курсанты, включал самолеты марок У-2, УТ-2, И-16, УТИ-4.

Окончив авиашколу в г. Кызыл-Арват осенью 1943 года и получив воинское звание сержанта, Марк Бердичевский был отправлен на фронт в действующую армию. Но ход войны менялся, и через некоторое время вышел приказ о переподготовке летных кадров на самолеты дальней авиации. Молодые летчики, в их числе и Марк Бердичевский, были направлены в Новосибирскую военную авиашколу пилотов (ВАШП), которая дислоцировалась в г. Бердск, и к тому времени была переведена в систему авиации дальнего действия.

Условия проживания и обучения в ВАШП были очень тяжелые. В первую очередь все необходимое отправлялось на фронт в действующие воинские части и подразделения. Авиационной техники не хватало, ее технический ресурс был использован полностью.

Во время прохождения службы в Новосибирской ВАШП, в сентябре 1944 г., Марк Бердичевский получил тяжелейшую военную травму, и по февраль 1945 г. находился на лечении в эвакогоспитале. Впоследствии был демобилизован из рядов Красной Армии, получив на всю жизнь инвалидность из-за расстройства опорно-двигательного аппарата.

Война отложила отпечаток на всю дальнейшую жизнь Марка Бердичевского. Многие его сверстники не вернулись с фронта, кто-то погиб в оккупированном фашистами Киеве. Он потерял товарищей по литературному кружку в довоенном Киеве: талантливый поэт, Яков Гальперин - был расстрелян немцами в гестапо в апреле 1943 г; Мун Лумкис - погиб под Киевом в ноябре 1943 года; Анатолий Юдин – пропал под Вязьмой в октябре 1941 года. Да и последствия травмы не давали о себе забыть.

Марк Бердичевский вернулся в освобожденный и разрушенный Киев, где продолжил учёбу на геологическом факультете КГУ. В это время там появилась новая геофизическая специальность,

и он перешел на нее. В своих кратких воспоминаниях он пишет: «Однако в те годы геофизика в Киеве была в самом зачаточном состоянии, поэтому мне скоро стало ясно, что учиться надо в Москве. Я поехал в Москву и меня приняли на третий курс геофизической специальности геологического факультета МГУ. При поступлении мне пришлось досдать несколько предметов».

#### ПЕРВЫЕ УЧИТЕЛЯ В ГЕОФИЗИКЕ

За время обучения наиболее глубокие впечатления Марка Наумовича были связаны с Александром Игнатьевичем Заборовским и Львом Моисеевичем Альпиным, которых он считал своими учителями.

А.И. Заборовский (1894-1976), выдающийся геофизик, автор фундаментальных теоретических работ и классических учебников по электроразведке, был создателем кафедры геофизики в МГУ и возглавлял её в те годы. Марк Наумович писал о нём так: «Энциклопедически высокообразованный учёный и блестящий педагог, он был основателем русской геофизической школы, достижения которой во многом определили современное состояние методов прикладной геофизики, направленных на поиски месторождений полезных ископаемых».

Л.М. Альпин (1898-1986) был одной из самых ярких фигур среди геофизиков середины прошлого века, специалистом в области теории геофизических полей и электроразведки. Он работал в Московском геологоразведочном институте (МГРИ), со специалистами которого геофизики МГУ всегда тесно сотрудничали. В 1998 году в своей статье в журнале «Геофизика» М.Н. Бердичевский и Б.С. Светов писали: «Геофизическое мышление авторов статьи и их, если можно так выразиться, геофизическая философия формировались под сильным воздействием бесед с Львом Моисеевичем Альпиным и его книг и лекций».

Большое влияние на становление Марка Наумовича, как ученого, оказал и известный геофизик-теоретик Сергей Михайлович Шейнман (1903-1986). «На последнем курсе (в 1948 г.) я поехал в экспедицию в Фергану в электроразведочную партию, которую возглавлял Сергей Михайлович. В то время он руководил первыми опытными исследованиями, связанными с разработкой метода теллурических токов (ТТ). Мне повезло: я решил несколько задач по методу ТТ, которые были полезны для дальнейшего развития этого метода. К сожалению, наше первоначальное

знакомство с Сергеем Михайловичем и общение с ним было недолгим, т.к. осенью 1949 года его арестовали. Наше общение возобновилось только в 1956 году, когда он вернулся из заключения», - вспоминал Марк Наумович. С.М. Шейнман был осужден ОСО при НКВД на 10 лет как «меньшевик», реабилитирован прокуратурой Ленинградской области в 1989 г.

По результатам производственной практики в Фергане М.Н. Бердичевский написал свою дипломную работу и с блеском защитил её. Вот что пишет Б.К. Матвеев, профессор Пермского государственного университета, выпускник МГУ 1952 г. «В июне 1949 г. состоялся первый выпуск геофизиков МГУ (М. Бердичевский, А. Гайнанов, В. Зайцев, В. Кун и другие). Выдающимся событием была защита дипломной работы М.Н. Бердичевским. Руководитель А.И. Заборовский в своем отзыве оценил ее на уровне кандидатской диссертации и посоветовал автору переоформить работу в диссертацию и представить к защите на Ученом Совете. Такое заявление бурно приветствовали все присутствующие». А.И. Заборовский хотел взять выпускника в аспирантуру, но парторг факультета резко возразил, что М.Н. Бердичевский индивидуалист и педагогической деятельностью в университете ему лучше не заниматься, а пойти в научный институт. (В то время парторги часто решали судьбу выпускников. И вероятно, не только независимый характер Марка Наумовича был причиной такого решения). Так он попал в НИИПГ (Научно-исследовательский институт прикладной геофизики), переименованный потом во Всесоюзный НИИ геофизических методов разведки Мингео СССР (ВНИИГеофизика).

В 1949 году Марк Наумович начал работать во ВНИИГеофизике в должности младшего научного сотрудника. Здесь ему предстояло проработать 20 лет. Основным направлением его деятельности стала разработка методов низкочастотной глубинной электроразведки.

#### **СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ В СЕРЕДИНЕ XX ВЕКА**

Данное направление разведочной геофизики оформилось в 1910-е годы, когда французские исследователи Конрад и Марсель Шлюмберже разработали метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), впоследствии внедрённый ими для решения ряда геологических задач, в том числе для поисков и разведки нефтегазовых месторождений.

Однако к середине XX века метод ВЭЗ не отвечал возросшим потребностям к детальности нефтегазовых исследований, особенно на фоне успешного развития сейсморазведки. Проблема заключалась в том, что для достижения большой глубинности исследования необходимы были многокилометровые разности между питающими и приёмными электродами, что при использовании установки Шлюмберже было технически сложно.

Частично проблему удалось решить с использованием дипольных электрических зондирований (ДЭЗ), предложенных профессором МГРИ Л.М. Альпиным. В дипольных установках использовались меньшие длины питающих линий, что было проще и обеспечивало более высокую помехоустойчивость.

Тем не менее, принципиальная проблема точности и детальности исследований на больших разностях отчасти сохранялась. Нужны были новые методы электроразведки, основанные на другом принципе зондирования. Такими методами стали методы низкочастотного электромагнитного поля, в них эффект зондирования достигается за счёт использования разных частот колебаний поля.

#### **РАБОТА ВО ВНИИГЕОФИЗИКЕ**

В послевоенные годы быстрое развитие и внедрение новых методов разведочной геофизики, использующих низкочастотные электромагнитные поля, обеспечили молодые учёные ВНИИГеофизики. Так, другой будущий профессор, Леонид Львович Ваньян, разрабатывал методы частотного зондирования и зондирования становлением поля, использующие искусственные источники. Марк Наумович занимался методами естественного низкочастотного поля космической природы, получившими название магнитотеллурических.

Разработки начались с наиболее простого метода теллурических токов (МТТ). Этот метод предложили братья Шлюмберже, позднее в СССР занимался его теоретическим обоснованием С.М. Шейнман. Марк Наумович обеспечил быстрое развитие и внедрение МТТ, результаты этой работы нашли отражение в его кандидатской диссертации на тему «Электрическая разведка погребенных структур методом теллурических токов» (1953 год).

К этому времени А.Н. Тихоновым была предложена идея использования отношения ортогональных электрической и магнитной компонент магнитотеллурического поля. Эта

идея была реализована М.Н. Бердичевским в виде относительно простого метода магнитотеллурического профилирования (МТП). Описанию этого метода посвящена его диссертация на соискание степени доктора технических наук «Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования» (1967 год).

Наконец, применение новых разработок в области регистрации и обработки сигналов позволило Марку Наумовичу внедрить метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ), широко применяемый и в настоящее время.

Новые методы сразу опробовались в Западной Сибири, освоение которой тогда было приоритетным для страны. Полученная информация о строении осадочного чехла и рельефе кристаллического фундамента в сочетании с данными сейсморазведки использовалась при выборе перспективных зон, в которых затем проводилось разведочное бурение, в свою очередь приведшее к открытию крупнейших нефтяных и газовых месторождений, например, Уренгойского, которое эксплуатируется до сих пор. Открыто месторождение было в 1966 г. Добыча газа началась в 1978. 25 февраля 1981 на Уренгойском месторождении добыты сто миллиардов кубометров природного газа. С января 1984 газ с Уренгойского месторождения начинает экспортироваться в Западную Европу.

Открытие Уренгойского месторождения дало начало бурному освоению богатств недр Западной Сибири, и немаловажную роль в этом сыграли геофизические методы разведки (в том числе и МТ-методы). В дальнейшем, в Западносибирском нефтегазоносном районе были выявлены свыше 500 месторождений важнейших горючих полезных ископаемых (нефти и газа), в которых содержится свыше 60% российских запасов нефти и до 90% природного газа.

После открытия Уренгойского месторождения во многих нефтяных организациях появились электромагнитные партии, ведущие МТ исследования в нефтеперспективных регионах. Начались масштабные исследования МТ-методами в пределах Восточно-Европейской платформы (Прикаспийская впадина, Тимано-Печерская впадина, Волгоуральская провинция), а также в Восточной Сибири - в Якутии, Забайкалье и других регионах.

На определенном этапе использования магнитотеллурических методов стало ясно, что классическая одномерная интерпретация

данных МТЗ, основанная на горизонтально-слоистой модели среды, может приводить к построению ложных глубинных геологических структур. Появилась необходимость в развитии как методики наблюдения электромагнитных данных, так и в теории и методах их интерпретации.

#### **СОТРУДНИЧЕСТВО С А.Н. ТИХОНОВЫМ**

Говоря о магнитотеллурических методах, нельзя обойти вниманием выдающегося математика, академика и профессора МГУ Андрея Николаевича Тихонова (1906–1993). Как уже отмечалось, им в 1950-м году была предложена идея метода магнитотеллурического зондирования, а затем заложены основы решения прямых задач магнитотеллурики в горизонтально-однородных и неоднородных средах.

М.Н. Бердичевский, специализируясь на этом направлении, активно взаимодействовал с А.Н. Тихоновым и его сотрудниками. В 1966 году вышла совместная работа двух родоначальников магнитотеллурики в Известиях АН СССР (серия «Физика Земли») «Опыт применения магнитотеллурических методов при изучении геологического строения осадочных бассейнов», подводившая итоги развития теории и практики этих методов на тот момент.

#### **ПЕРВЫЕ ШАГИ В ИЗУЧЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД**

На начальных этапах развития методов электромагнитного зондирования Земли изучались квазислоистые структуры. При исследовании сложно построенных геологических сред эти методы давали грубую и подчас недостоверную информацию.

В магнитотеллурике основным интерпретационным параметром являлся скалярный импеданс  $Z$ . В начале 1960-х годов Марк Наумович предложил новую идею, сыгравшую важнейшую роль - использовать линейные соотношения между горизонтальными векторами электрического и магнитного полей через тензор импеданса  $[Z]$ . Его использование открыло большие возможности магнитотеллурики при изучении горизонтально-неоднородных сред. Это повлекло за собой развитие и других методов электроразведки применительно к их изучению.

Переход от одномерной к двумерной и трехмерной интерпретации придал новый мощный импульс в развитии электромагнитных методов в геофизике. Совершенствование

вычислительной техники привело к развитию численных методов и созданию вычислительных программ, которые позволили строить двумерные и трехмерные модели геологических сред.

### УЧЕБНАЯ РАБОТА В МГУ

В 1969 году М.Н. Бердичевский вернулся на свою родную кафедру уже в качестве профессора. В число его обязанностей вошло чтение лекций и участие в организации и проведении студенческих практик. Необходимо отметить, что Марк Наумович был выдающимся лектором, его способность доступно объяснять материал и интеллигентные манеры привлекали слушателей, а интересные и актуальные темы научной работы под его руководством всегда обеспечивали ему способных учеников.

По инициативе Марка Наумовича и при активном участии профессора Владимира Ивановича Дмитриева в учебный процесс на кафедре геофизики были введены существующие поныне курсы «Теория геофизических полей», «Некорректные задачи геофизики» и «Теория электромагнитных зондирований». Было затрачено очень много сил, чтобы добиться почти-что невозможного в то время: сократить в учебном плане количество часов по таким дисциплинам, как История КПСС и Марксистско-ленинская философия, чтобы увеличить количество часов для преподавания математических дисциплин. Настольными книгами для студентов-геофизиков стали монографии М.Н. Бердичевского.

Также М.Н. Бердичевский работал в Методическом совете геологического факультета, разрабатывая учебные планы для кафедры геофизики. Он участвовал в деятельности Научного студенческого общества, приходил читать лекции студентам и аспирантам в общежитие.

Однажды, Марк Наумович должен был в общежитии прочитать студентам лекцию на тему «Электромагнитное поле Земли». Но человек, который писал объявление о лекции, ошибся, и написал «Электромагнитное поле человека». Узнав об этом, лектор, чтобы не разочаровать пришедших слушателей, в течение часа рассказывал им про биополе.

Совместно с профессорами В.И. Дмитриевым и Л.Л. Ваньяном, Марк Наумович организовывал Всесоюзные школы по электромагнитным зондированиям Земли, которые проходили в разных городах страны с 1969 по 1988 годы. Школы существенно способствовали обмену

опытом и информацией между учёными из разных организаций, а также подготовке молодых специалистов.

Первая Всесоюзная школа-семинар по электромагнитным зондированиям состоялась в 1969 году в поселке Фирюза (Туркмения). Уже тогда в ее работе принимали участие представители 12 союзных республик. На ней были заложены традиции дальнейших школ, которые были окончательно закреплены на второй школе-семинаре (Сухуми, 1973 г.) Обширна география дальнейших школ (Фирюза, Звенигород, Мукачево, Баку, Киев, Дагомыс).

По форме и содержанию эти мероприятия носили научно-образовательный характер. Под флагом «школьного» движения объединились тогда академическая, вузовская и производственная деятельность ученых, преподавателей и полевиков-геофизиков в области относительно молодой еще науки – геоэлектрики. В организации школ принимали участие институты АН СССР и Союзных республик (ИЗМИРАН, ИО РАН, ИФЗ, МГК и др.), МГУ им. М.В. Ломоносова, многие другие ВУЗы, НИИ и производственные организации СССР.

С распадом СССР «школьная» традиция прервалась более чем на 15 лет. Она возродилась лишь в 2003 г. и продолжается до сих пор.

### НАУЧНАЯ РАБОТА В МГУ

В 1970-е годы М.Н. Бердичевским и В.И. Дмитриевым на основе решения прямых двумерных и трехмерных задач была создана теория искажений кривых магнитотеллурического зондирования в горизонтально-неоднородных средах. Это позволило начать разработку методики интерпретации магнитотеллурических данных, впоследствии успешно применяющуюся для построения глубинных геоэлектрических моделей тектонически активных зон, а также для поисков и разведки месторождений горючих и твердых полезных ископаемых.

В 1980-х годах под руководством Марка Наумовича осуществлялся проект по составлению модели электропроводности земной коры на территории СССР. В нём участвовали учёные из регионов от Ленинграда и Киева до Камчатки и Сахалина. Были обобщены сведения об электропроводности земной коры разных тектонических структур, сделаны выводы о природе аномалий.

Исследование коровых аномалий представляет большой интерес, так как они несут важную информацию о петрофизическом составе, термодинамическом и фазовом состоянии пород на больших глубинах. Эта информация, в свою очередь, позволяет определять условия и прогнозировать области формирования полезных ископаемых.

В 1980-е годы глубинные электромагнитные исследования осуществлялись уже почти на всей территории бывшего СССР. В них принимали участие крупнейшие научно-производственные геологические объединения, институты Академии наук и ведущие Вузы страны. Все чаще в литературе стали появляться сообщения об аномалиях электропроводности в земной коре и верхней мантии. Возникла необходимость обобщить накопленный опыт и систематизировать полученные результаты по электропроводности земной коры.

В связи с этим по инициативе ведущих ученых страны и по поручению Мингео СССР в ГКНТ была создана рабочая программа: «Разработка модели распределения корового проводящего слоя на территории СССР по данным электромагнитных исследований». Головная организация – Геологический факультет МГУ, исполнители – все ведущие ВУЗы страны, крупнейшие научно-исследовательские институты Академии Наук, а также научно-производственные объединения Мингео. Работу возглавлял Редсовет карты (председатель М.Н. Бердичевский, заместители - Л.Л. Ваньян, М.С. Жданов). В Редсовет вошли представители более 30 организаций участников. Работа планировалась на 1986-1995 гг. и должна была завершиться составлением геоэлектрических моделей земной коры Восточной Европы и Северной и Центральной Азии, карт и схем глубинного геоэлектрического районирования. Однако, из-за распада СССР и прекращения финансирования не всё задуманное удалось осуществить.

В 1990-е и 2000-е годы Марк Наумович много внимания уделял изучению глубинного строения земной коры и верхней мантии тектонически активных регионов. Развитие вычислительной техники позволило перейти к построению детальных двумерных геоэлектрических моделей. М.Н. Бердичевским, В.И. Дмитриевым и их учениками была разработана методика двумерной интерпретации данных МТЗ и построены геоэлектрические модели коллизионной зоны Тянь-Шаня, Байкальской рифтовой зоны, Малого Кавказа, Каскадной

субдукционной зоны и другие. Эти модели отражают глубинные тектонические процессы в литосфере, связанные с тепломассопереносом и приводящие к формированию сейсмической и вулканической активности, месторождений полезных ископаемых и геотермальных ресурсов.

Научные достижения М.Н. Бердичевского были хорошо известны во всём мире, чему способствовали его активное участие в зарубежных конференциях и публикации в ведущих европейских и американских журналах. На протяжении многих лет он представлял СССР в рабочей группе по электромагнитной индукции в Земле в рамках Международной ассоциации геомагнетизма и аэрономии. Марк Наумович по праву считался самым авторитетным учёным на постсоветском пространстве, его причисляли к патриархам мировой геофизической науки, его монографии были и до сих пор остаются, говоря без преувеличения, настольными книгами геофизиков на всех континентах.

За всю жизнь М.Н. Бердичевский написал, в том числе в соавторстве, 14 монографий и более 250 статей, подготовил более 20 кандидатов наук и 4-х докторов наук.

Главным итогом работы Марка Наумовича является достигший высокого уровня эффективности метод магнитотеллурического зондирования, который применяется в широком диапазоне частот для решения с высокой детальностью целого ряда геологических задач. К ним относятся:

- глубинные исследования земной коры и верхней мантии платформенных областей, зон спрединга, субдукции и коллизии;
- региональные геофизические работы для выявления зон, перспективных с точки зрения различных видов полезных ископаемых;
- изучение нефтегазоносных осадочных бассейнов;
- поиск и разведка месторождений твёрдых полезных ископаемых;
- исследование сейсмоактивных зон и вулканов;
- оценка геотермальных ресурсов;
- изучение подземных вод и многолетнемерзлых горных пород.

Доклад подготовлен на основе статьи: В.И. Дмитриев, Н.С. Голубцова, П.Ю. Пушкарев. Создатель теории и практики метода магнитотеллурического зондирования Земли. Марк Наумович Бердичевский (1923-2009). В книге «Судьбы творцов Российской науки и культуры». Том 8, 2021 (в печати).