

О ПОСТРОЕНИИ БАЗЫ ДАННЫХ В ГЕОЭЛЕКТРИКЕ

И.И. Рокитянский

*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
пр.Палладина, 32, Киев 03680, Украина, e-mail: rokityansky@gmail.com*

Одной из задач геоинформатики является разработка методологии оптимального получения и хранения знаний/информации в соответствующем конкретном разделе науки. Решение такой задачи возможно разными способами, поскольку критерий оптимальности может быть введен по-разному, а главное, оно зависит от цели конкретной науки на данном этапе ее развития в данном сообществе. Представлены соображения по этому вопросу для глубинной геоэлектрики с иллюстрацией их результатами исследований астеносферы, полученными в Европе.

Ключевые слова: геоэлектрика, обратная задача геофизики, база данных, астеносфера.

Введение. Одними из наиболее перспективных методов в изучении земных глубин являются методы геоэлектрики, особенно использующие естественные электромагнитные поля, возбуждающиеся в магнитосфере и ионосфере Земли под воздействием непрерывно изменяющегося корпускулярного и электромагнитного излучения Солнца [1, 2, 4, 6, 7]. Таких методов три: магнитовариационное зондирование (МВЗ), магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) и магнитовариационное профилирование (МВП). Изучаемая величина — удельная электропроводность σ (или обратное ей удельное сопротивление ρ) — изменяющийся в широких пределах параметр, который характеризует состав и физическое состояние земных недр. Теория твердого тела и лабораторные эксперименты при высоких давлениях и температурах показывают тесную связь электропроводности твердых горных пород с температурой, т. е. измерения глубинной электропроводности несут информацию о температуре и состоянии пород мантии Земли, причем в момент измерения, а не в отдаленном прошлом, как геотермика. Лабораторные эксперименты с горными породами, содержащими даже небольшое количество воды, свидетельствуют о резком увеличении σ при относительно невысоких температурах (500–700 °C), обусловленном частичным плавлением. Известно, что флюиды поднимаются из глубоких недр по узким разломам и плюмам, мало затрагивая основную массу твердых пород литосферы. Возникающие во флюидообогатенных зонах аномалии повышенной электропроводности могут быть обнаружены, прослежены и изучены методами геоэлектрики, что дает ценный материал при исследовании наиболее подвижных участков литосферы, к которым приурочены активные тектонические движения, процессы регионального метаморфизма и образования полезных ископаемых.

Особенности геоэлектрического исследования.

Измеряемыми величинами в методах геоэлектрики являются компоненты электрического и магнитного полей, представляемые в виде дискретных временных рядов, содержащих богатый набор вариаций с различными периодами (различной временной частотой). Чтобы исключить из дальнейшего рассмотрения изменяющиеся параметры источников электромагнитного поля, производится обработка временных рядов с целью получения функций отклика (ФО, или RF-response functions). ФО зависят от частоты или периода (или времени при переходе к геоэлектрике импульсных переходных характеристик = transient geoelectrics). Основные ФО следующие:

- в методе МТЗ — *тензор импеданса*, определяемый по горизонтальным компонентам электрического и магнитного полей. По нему обычно вычисляются вспомогательные ФО, визуализирующие данные и облегчающие интерпретацию: кажущееся сопротивление или кажущаяся продольная проводимость, эффективная глубина и др.;
- в методе МВЗ — *магнитное отношение* — отношение вертикальной компоненты геомагнитных вариаций к горизонтальной для выделенной пространственной гармонике; по нему можно вычислить импеданс, отношение внутренней части поля к внешней и др.;
- в методе МВП — *типпер* (вектор индукции) и *магнитный тензор*.

Каждая ФО вводится в рамках некоторой идеализированной модели поля и строения Земли. Например, импеданс соответствует модели Тихонова–Каньяра (плоская волна) или является спектральным, т. е. определяется по одной пространственной гармонике поля. Практически данные условия никогда точно не выполняются, поэтому импеданс и другие функции отклика всегда вычисляются с некоторой погрешностью. По-

сколькx отклонения реального источника от идеализированной модели носят не случайный, а систематический характер, оценка ΦO в большинстве случаев смещена, что не учитывается в статистических оценках погрешностей, определяемых при обработке. Особенно большим смещением [5, 22] может характеризоваться магнитное отношение Z/H в предположении, что наблюдаемое поле полностью описывается одной сферической гармоникой, например первой зональной, т. е. однородной частью поля кольцевого тока — популярный источник для МВЗ по данным одной магнитной обсерватории.

Допустим, функции отклика количественно определены с оптимальной неопределённостью в точке или на профиле, или по площади и можно перейти к конечной цели исследования — построению геоэлектрической модели, т. е. к нахождению распределения электропроводности недр Земли в районе выполненных наблюдений. В математической постановке это называют решением обратной задачи, или инверсией.

Обратная задача геофизики есть задача извлечения информации об интересующем нас объекте — Земле — из экспериментальных данных. Для формирования методологии решения обратной задачи основополагающее значение имеют следующие общие положения.

1. Реальный объект всегда неисчерпаем по своей сложности, поэтому его точное описание невозможно никаким конечномерным вектором. Формально можно сказать, что точное описание реального объекта требует бесконечномерных векторов, определяемых в абстрактном бесконечномерном пространстве параметров.
2. В любую заданную эпоху объём геофизической информации конечен, т. е. данные наблюдений могут быть описаны вектором с конечной размерностью.
3. Параметризацию (переход от реального объекта к его конечномерным моделям) можно выполнить бесконечным числом способов, т. е. число возможных моделей бесконечно.

Эти положения можно сформулировать в виде теоремы о неоднозначности обратной задачи [12, 13]: *множество моделей реального объекта, которые после решения прямой задачи моделирования дают точные значения данных наблюдения для любого их конечного количества, либо пусто, либо бесконечно.*

Математическая инверсия может давать весьма странные результаты. Например, при одномерной инверсии можно получить чередование слоёв с очень высокой и очень низкой электропроводностью, оптимально удовлетворяющее данным наблюдения, хотя и невозможное с точки зрения физики и геологии. Очевидно, “способности” математической инверсии следует лимитировать (ре-

гуляризовать), т. е. ввести ограничения на возможные вариации электропроводности, надёжно следующие из физико-геологических априорных данных.

Вместе с тем, если ΦO (допустим, импеданс, заданный в некотором диапазоне периодов) описывается N числами, нет смысла искать детальную геоэлектрическую модель, описываемую M числами при $M > N$ — обратная задача недоопределена. Обычно ищутся “гладкие” модели с $M \ll N$, при этом входные параметры, т. е. функции отклика (ΦO), вводят со статистической погрешностью их вычисления, не учитывая возможных и обычно неизбежных систематических погрешностей. Если облако входных (наблюдённых) параметров ΦO (с учетом введенных погрешностей) включает область определения параметров при решении прямой задачи для искомого класса моделей, то решение принимается и погрешность определения каждого параметра найденной модели может быть оценена по матрице чувствительности. Если некоторый параметр модели m_i мало чувствителен к небольшим (равным погрешности определения) изменениям входных данных n_k ($0 < k < N$), то он определяется надёжно и его можно принять за инвариант рассматриваемой задачи. Примеры надёжно определяемых параметров: при 1D зондировании — суммарная продольная проводимость S хорошо проводящего слоя и глубина его верхней кромки; при 2D магнитовариационном профилировании — избыточная суммарная продольная проводимость G аномального проводника и максимальная оценка его глубины/ширины. При этом удельная электропроводность определяется в широких пределах неоднозначно даже в выбранном классе моделей и неоднозначность увеличивается при переходе к более сложным моделям.

Итак, чтобы сделать возможным решение обратной задачи, необходимо выполнить параметризацию разреза, т. е. перейти от бесконечномерного вектора $\sigma(x, y, z)$ к конечномерному $\sigma = (x_1, x_2, \dots, x_N)$. Параметризация не формализуется, а выбирается исследователем на основе его опыта, интуиции и априорных данных и может быть выбрана бесконечным числом способов. Далее вступают в действие хорошо развитые и формализованные методы инверсии, которые могут в автоматическом режиме найти оптимальное единственное решение, наилучшим образом отвечающее данным наблюдения, возможно применение метода регуляризации, которое может сместить полученное решение при учете априорных данных. Все эти решения находятся в рамках выбранной параметризации, за пределами которой остается бесконечное множество решений, удовлетворяющих данным наблюдения, в том числе возможно наилучшее приближение к истинному $\sigma(x, y, z)$.

Поэтому нахождение единственного решения не может быть конечной целью фундаментальной науки.

Как же описать бесконечное множество возможных решений? Представляется целесообразным ввести концепцию фундаментальных моделей (ФМ), понимая под фундаментальной моделью множество конкретных моделей Земли, которые при решении прямой задачи дают множество числовых значений функций отклика, различающихся между собой не больше, чем погрешность их определения в результате наблюдений и обработки [8]. Составление каталога фундаментальных моделей – процесс очень трудоемкий, но будучи однажды выполнен, каталог может быть использован для автоматизированного решения обратной задачи, например, путем применения метода нейросетей.

Роль измерений состоит в наложении ограничений на множество всевозможных моделей. Пусть M измерениям соответствует множество $X(M)$ геоэлектрических моделей. При увеличении числа измерений на M_1 множество допустимых моделей сократится до $X(M + M_1) < X(M)$, оставаясь всегда бесконечным.

Возникает вопрос, дает ли получение одного решения обратной задачи приращение знаний о строении Земли? Ответ должен быть отрицательным, поскольку знание – это “проверенный практикой результат познания действительности, верное её отражение в сознании человека. Знание противоположно незнанию, т. е. отсутствию проверенной информации о чем-либо” (БСЭ, изд. 3-е, т. 9, с. 555). Однако ввиду того что наука – это “сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности” (там же, т. 17, с. 323), поиск одной модели строения Земли в условиях широкой неоднозначности обратной задачи следует признать ненаучным подходом, ибо “научная деятельность правомерно называется таковой лишь постольку, поскольку она дает приращение нового знания” (там же). Так как описание бесконечного числа моделей представляется затруднительным, под знанием в геофизике (кроме самих измеренных физических полей и параметров) следует понимать инварианты свойств всех моделей Земли, удовлетворяющих данным наблюдений. Поиск подобных инвариантов можно считать главной задачей интерпретации геофизических данных, хотя и инварианты ищутся в некоторых частных классах моделей, например в классах 1D-, 2D-моделей.

Между тем представление одной модели, выбранной случайно или для “подтверждения” некоторой гипотезы, стало широко распространенной практикой в литературе и диссертациях,

особенно в области геологических наук. В физике подобные работы рассматриваются как фальсификация, с которой научное сообщество обязано бороться, чтобы поддерживать высокий стандарт данной науки, а также доверие общества ко всем её выводам и тем самым оправдывать хорошее финансирование науки из бюджета [21]. В физике общепринято тщательное описание условий проведения экспериментов и данных наблюдения так, чтобы любой исследователь мог воспроизвести подобные условия, повторить наблюдения и убедиться в правильности полученных результатов. Без тщательного описания и анализа всех возможных погрешностей экспериментальные работы не принимаются к опубликованию.

В Министерстве геологии СССР также действовали жесткие инструкции по проведению полевых работ методом МТЗ. Они включали систематическое эталонирование аппаратуры, повторные контрольные наблюдения на 5 % полевых пунктов, и если результаты контрольных измерений отличались от исходных более чем на допустимую погрешность, работа на всех пунктах браковалась со всеми вытекающими последствиями.

Ниже критически рассмотрены результаты (глубинных геоэлектрических) исследований астеносферы в Центральной Европе.

Исследования астеносферы. “Верхняя мантия Земли в диапазоне глубин 80–400 км известна как астеносфера. В этом слое происходит изостатическая компенсация, а сейсмические волны, проходящие через него, относительно сильно затухают. Эти явления произвольно приписываются частичному плавлению материала астеносферы. Возникает вопрос, нет ли другого метода, который мог бы уточнить это предположение...

На основе лабораторных данных принято считать, что объемная электропроводность смеси силикатов, каковой мы представляем себе мантию, очень чувствительна к присутствию жидкой фазы (безразлично силикатного или водного состава) при условии, если она образует непрерывную сеть. ... Подобно другим геофизическим обратным задачам, и при электромагнитных зондированиях трудно получить точные значения электропроводности. Однако несмотря на это, есть основания полагать, что из них может быть получена информация о распределении и объемном содержании расплавленного материала, информация, которую получить другими методами еще труднее, если возможно вообще” [24]. МТЗ – основной метод локальных и региональных исследований электрической астеносферы (ЭА), под которой принято понимать слой повышенной электропроводности под литосферой Земли. Существенной трудностью таких исследований является почти повсеместное наличие приповерхностных неоднородностей и коровых аномалий электропроводности, которые эк-

ранируют астеносферу и/или искажают получаемые результаты. Эта трудность возникает на стадии решения обратной задачи. Наличие промышленных помех осложняет более раннюю стадию — стадию обработки. В настоящее время могут быть более или менее надёжно определены только два параметра ЭА: глубина до верхней кромки проводящего слоя h_A (глубина eLAB — electric lithosphere-asthenosphere boundary) и суммарная продольная проводимость S_A .

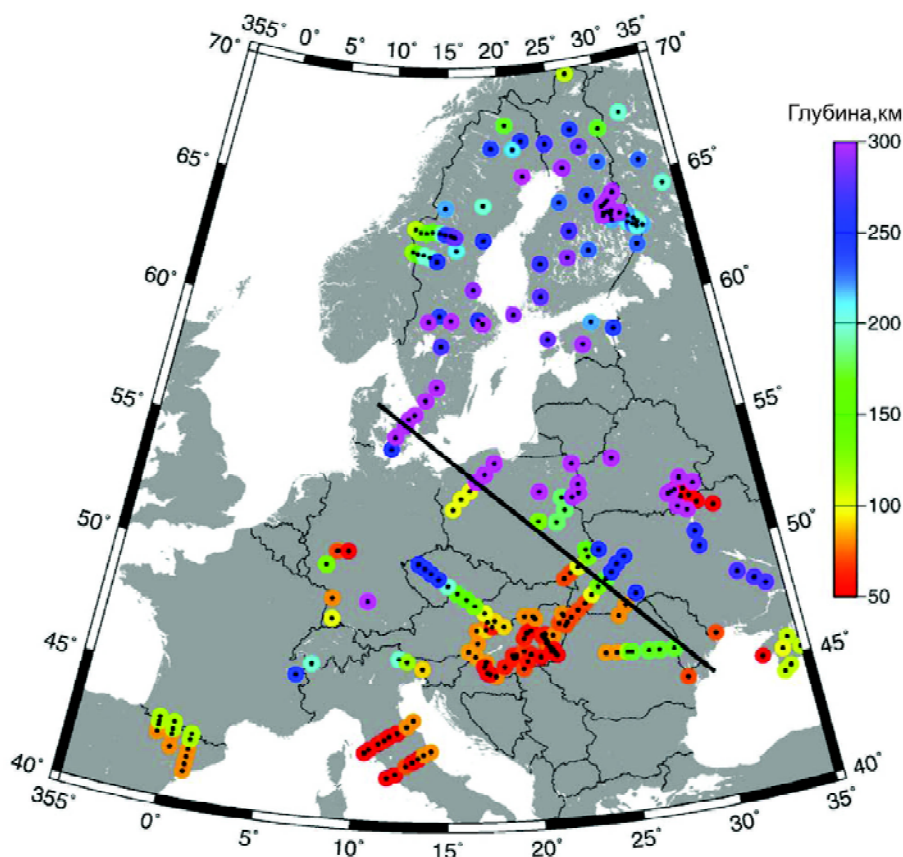
ЭА была обнаружена независимо А. Адамом в Венгрии и Х. Фурнье во Франции в 1960-е годы. Наиболее благоприятные условия (мощная слабодислоцированная осадочная толща с небольшой суммарной проводимостью S_1 в первые сотни сименсов) для изучения астеносферы оказались в Приуралье и Зауралье (под самим Уралом астеносфера не обнаружена), что позволило определить средние для региона значения $h_A = 100$ км (от 70 до 120 км), $S_A = (1500 \pm 500)$ См [3], причем на отдельных участках астеносфера не обнаруживается, что позволяет предположить ее кусочно-блоковое, а не сплошное распространение (А.Г. Дьяконова, персон. сообщ., 2013). В обрамлении Парижского бассейна, включая Вогеzy и Шварцвальд, $h_A = 60\text{--}100$ км, $S_A \approx 1000$ См [15]. Менее благоприятные условия (неоднородные осадочные породы, коровые проводники) в Венгерском (Паннонском) бассейне, оценка $h_A \approx 65$ км (50–90 км) [11], S_A по данным МТЗ не определена вследствие сложных приповерхностных условий, по косвенным данным МВП и геотермики S_A оценивают в > 2000 См. В пределах палеозойской и докембрийской платформ $h_A \approx 120$ км (100–250 км) [11], S_A — несколько сотен сименсов. Рассмотренные результаты были получены в XX в. первопроходцами магнитотеллурики примитивными средствами наблюдения и обработки, но путем вдумчивого анализа.

Успехи компьютеризации отучили большую часть современных исследователей от вдумчивого анализа, в научном сообществе сложились не всегда оправданные стереотипы, как, например, чрезмерное увлечение двумерной интерпретацией профильных данных, преждевременная комплексная интерпретация ненадёжных данных нескольких методов (подробнее см. работу [10]).

В 2001–2005 гг. были выполнены наблюдения в рамках международного проекта EMTESSZ-Romania. Аппаратура, методы обработки и анализа были самые современные, участники — специалисты магнитотеллурики высшей квалификации. Результаты до глубины 160 км представлены в работе [14] и продолжены до 400 км и глубже в работе [18], а также в серии работ В.Ю. Семенова [23]. Информация по астеносфере доступна только в длиннопериодных данных МТЗ (в данных МВП она тоже содержится, но

ввиду высокой проводимости сложно распределенных коровых проводников (см. распределение векторов индукции в работах [19, 25]) навряд ли может быть извлечена с удовлетворительной неопределённостью. Основной вес придавался фазовым данным. Анализ фазового тензора импеданса для обоих профилей (кроме их северо-восточных окончаний) дал примерно одинаковые главные направления, что позволило применить двумерную инверсию. Команда из Берлина использовала детерминант импеданса + типпер, команда из Упсалы — бимодальный импеданс + типпер, команда из Троицка — бимодальный импеданс, типпер и магнитный тензор. Результаты трех инверсий получились весьма близкими для коровых проводников, но для верхней мантии они существенно различны. Согласно результату команды из Берлина, под Трансевропейской шовной зоной (TESZ) на глубине 60–120 км находится проводящая зона (ЭА?). Инверсия, выполненная командой из Троицка, дает на этом же месте повышенные значения удельного электрического сопротивления. И это не удивительно, поскольку в коре находятся значительно более проводящие объекты трехмерной конфигурации, причем из трех алгоритмов только схема команды из Троицка хоть как-то учитывала трехмерность.

В заказных обзорных докладах регулярных (каждые 2 года) международных школ по электромагнитной индукции наблюдается тенденция некритического подхода к обзоре работ. Так произошло с обзорами по астеносфере. В результате для Европы была получена “база данных” [20], включающая около 250 определений глубины до проводящего слоя (ЭА) в верхней мантии и построена карта (см. рисунок), используемая для сравнений с сейсмической астеносферой (СА), полученной по сейсмическим данным, и тектонических выводов из такого сопоставления [17]. Большинство “определений” — это ссылки на недоказанные упоминания о глубинах, полученных по формальной интерпретации или предположенных, или включенных в одну из многих совместимых с данными наблюдений моделей. В некоторых районах (Пиренеи, Альпы) результаты по астеносфере не могли быть получены ввиду высокой проводимости и сложного строения коровых проводников (см. статью [9]). Результаты по территории Украины мне хорошо известны: достоверных данных по ЭА почти нет. Имеющиеся данные множества (более 1000) МТЗ [16 и более поздние работы] осложнены приповерхностными и коровыми неоднородностями или получены со значительной погрешностью. Эти данные не противоречат возможности существования ЭА, но и не доказывают его, а опубликованы с целью “поддержать” одну из тектонических гипотез.



Глубина до верхней кромки астеносферы – границы eLAB [17]

На рисунке видны тесные скопления пунктов МТЗ на некоторых участках, причем полученные глубины местами заметно различаются в близлежащих пунктах. Такой результат не соответствует возможностям (разрешающей способности) МТЗ и не может быть признан достоверным. По-видимому, он получен вследствие искажений данных МТЗ коровыми неоднородностями. Осреднение результатов по группе близлежащих пунктов может дать сильно смещенную оценку, о чем свидетельствуют расчеты на многих моделях [1, 7]. Таким образом, рассмотренный европейский опыт построения базы данных об астеносфере нельзя признать успешным.

Обсуждение. Возникает вопрос, как хранить и в каком представлять потребителям (геологам, тектонистам, планетологам...) информацию, получаемую глубинной геоэлектрикой. Принимая во внимание изложенное выше, отметим, что этот вопрос довольно сложен. Рассмотрим некоторые возможные варианты организации базы данных (положительные моменты обозначим знаком “+”, отрицательные знаком “–”).

Первичные данные наблюдений в виде временных рядов компонент электромагнитного поля: “+” – возможность в будущем применить новые методы обработки, реализовать новые идеи изучения корреляций с различными явлениями, например с биомедицинскими явлениями; “+” – с уче-

том прогрессирующего распространения создаваемых человеком электромагнитных помех на новые территории в будущем эти территории могут стать слишком зашумленными для новых наблюдений; “–” – очень большой объем данных во временных рядах.

Функции отклика: “+” – исключено или существенно уменьшено влияние источника поля; частотные характеристики и пространственные изменения функций отклика сразу позволяют сделать оценку геоэлектрического строения; временные изменения ФО эффективны при мониторинге геодинамических процессов, что дает возможность определить изменения электропроводности и литосферную эмиссию. *Требования:* описать алгоритм обработки, качество материалов наблюдения, представить неопределенность (погрешность) результата, вычисленную при обработке статистическими методами и высказать соображения о возможном смещении результатов (систематическая погрешность).

Геоэлектрические модели строения конкретного региона. Как показано выше, обратная задача всегда неоднозначна, поэтому оправданно сохранение в базе данных только тех моделей, все параметры которых состоят из инвариантных величин, т. е. таких, которые с необходимостью следуют из данных наблюдения. Подобный подход еще не укоренился в научном сообществе. Из-

лишне сложные модели и модели, полученные в неадекватном классе моделей (большинство 2D инверсий), не следует включать в базу данных. Неадекватную 2D инверсию следует рассматривать как одну из трансформаций ФО, её можно помещать в базу данных ФО. *Требования:* описание методики и алгоритма решения обратной задачи; доказательство того, что все параметры модели являются инвариантами обратной задачи.

Оптимальной будет база данных, включающая все три описанные уровни: первый требует большого объема памяти, второй и, особенно, третий — досконального квалифицированного честного выполнения всех необходимых требований. Эти требования должны быть обсуждены национальным/региональным/международным магнитотеллурическим сообществом и после неизбежных дискуссий приняты на соответствующей конференции.

Заключение. Кроме научных трудностей построения базы данных имеется существенная организационная трудность — недоступность части данных для общего пользования: правительственное засекречивание по соображениям безопасности (преимущественно необоснованное в области геофизики); коммерческое засекречивание; предоставление первичным исследователем урезанных данных, чтобы никто не мог повторить и проверить правильность их обработки и выводов. Последние два пункта, особенно если исследования выполнены за счет госбюджетных средств, недопустимы, поскольку геофизические исследования глобальны, используются для прогнозирования и смягчения как глобальных, так и локальных природных катастроф, изменений климата, фиксации загрязнений и борьбы с ними, биомедицинских исследований, т. е. решают общечеловеческие проблемы. Борьба с засекречиванием и урезанием данных — престижная задача геоинформатики.

1. Бердичевский М.Н. Модели и методы магнитотеллурики / М.Н. Бердичевский, В.И. Дмитриев — М.: Науч. мир, 2009. — 680 с.
2. Ваньян Л.Л. Интерпретация данных магнитотеллурических зондирований неоднородных сред / Л.Л. Ваньян, А.С. Дебабов, М.Н. Юдин. — М.: Недра, 1984. — 198 с.
3. Дьяконова А.Г. Электромагнитные зондирования на Восточно-Европейской платформе и Урале / А.Г. Дьяконова, А.И. Ингеров, И.И. Рокитянский — Киев: Наук. думка, — 1986. — 140 с.
4. Ковтун А.А. Использование естественного электромагнитного поля при изучении электропроводности Земли. — Л.: Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1980. — 195 с.
5. Рокитянский И.И. Оценка погрешности магнитовариационного зондирования в отдельной точке методом математического моделирования // Вопросы геофизических исследований на Украине. — Киев: Наук. думка, 1972. — С. 219–227.
6. Рокитянский И.И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. — Киев: Наук. думка, 1975. — 279 с.
7. Рокитянский И.И. Индукционные зондирования Земли. — Киев: Наук. думка, 1981. — 296 с.
8. Рокитянский И.И. Фундаментальные модели аномалий электропроводности (1-D, 2-D) // Геофиз. журн. — 1988. — Т. 10, № 3. — С. 21–28.
9. Рокитянский И.И. К возможности зондирования астеносферы // Там же. — 1990. — Т. 12, № 2. — С. 86–91.
10. Рокитянский И.И. Заметки о геоэлектрике // Там же. — 2012. — Т. 34, № 4. — С. 235–244.
11. Adam A. Electromagnetic induction profile (PREPAN95) from the East European Platform (EEP) to the Pannonian basin / A. Adam, T. Ernst, J. Jankowski, W. Jozwiak, M. Hvozدارa, L. Szarka, V. Wetztergom, I. Logvinov, S. Kulik // Acta Geod. Geoph. Hung. — 1997. — V. 32 (1–2). — P. 203–223.
12. Backus G.E. Numerical application of a formalism for geophysical inverse problem / G.E. Backus, J.F. Gilbert // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. — 1967. — V. 13. — P. 247–276.
13. Backus G.E. Uniqueness in the inversion of inaccurate gross Earth data / G.E. Backus, J.F. Gilbert // Phil. Trans. Roy. Soc. London. — 1970. — V. 266. — P. 123–192.
14. Ernst T. Electromagnetic images of the deep structure of the Trans-European Suture Zone beneath Polish Pomerania / T. Ernst, H. Brasse, V. Cerv, N. Hoffmann, J. Jankowski, W. Jozwiak, A. Kreutzmann, A. Neska, N. Palshin, L. Borsting Pedersen, M. Smirnov, E. Sokolova, I.M. Varentsov // Geophys. Res. Lett. — 2008. — V. 35. — doi:10.1029/2008GL034610.
15. Fournier H.G. Graphical geostructural synthesis in log-space of deep magnetotelluric soundings made in and around the Parisian basin / H.G. Fournier, Y. Benderitter, J. Ferber // 4-th ann. Meet. Earth Sci. Paris, April. — 1976.
16. Ingerov A.I. Forty years of MTS studies in the Ukraine / A.I. Ingerov, I.I. Rokityansky, V.I. Tregubenko // Earth Planets Space. — 1999. — V. 51. — P. 1127–1133.
17. Jones A.G. Europe from the bottom up: A statistical examination of the central and northern European lithosphere-asthenosphere boundary from comparing seismological and electromagnetic observations / A.G. Jones, J. Plomerova, T. Korja, F. Sodoudi, W. Spakman // Lithos. — 2010. — V. 120. — P. 14–29.
18. Jozwiak W. Electromagnetic study of lithospheric structure in the marginal zone of East European Craton in NW Poland // Acta Geophysica. — 2013. — V. 61, № 5. — P. 1101–1129.
19. Jozwiak W. Large-scale crustal conductivity pattern in Central Europe and its correlation to deep tectonic structures // Pure Appl. Geophys. — 2012. — V. 169. — P. 1737–1747.
20. Korja T. How is the European lithosphere imaged by magnetotellurics? // Surv. Geophys. — 2007. — V. 28. — P. 239–272.
21. Physics Today. — January, 2003. — p. 21.
22. Schultz A. On the electrical conductivity of the mid-mantle: I. Calculation of equivalent scalar magnetotelluric response function / A. Schultz, J. C. Larsen // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. — 1987. — V. 88. — P. 733–761.
23. Semenov V.Yu. Lateral variations of the mid-mantle conductance beneath Europe / V.Yu. Semenov, W. Józwiak // Tectonophysics. — 2006. — V. 416. — P. 279–288.
24. Synopsis of Symposium 17. The Electrical Conductivity and Characteristics of the Asthenosphere, Assembly IUGG, Canberra, December, 1979. — Canberra, 1979. — p. 524.
25. Varentsov Iv.M. Array view on electromagnetic transfer functions in the EMTESZ–Pomerania Project / Iv.M. Varentsov, E.Yu. Sokolova, E.R. Martanus // Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Science. — 2005. — C-95(386). — P. 107–121.

ПРО ПОБУДОВУ БАЗИ ДАНИХ В ГЕОЕЛЕКТРИЦІ

І.І. Рокитянський

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
пр. Палладіна, 32, Київ 03680, Україна, e-mail: rokityansky@gmail.com

Одним із завдань геоінформатики є розробка методології оптимального отримання та зберігання знань/інформації у відповідному конкретному розділі науки. Вирішення такого завдання може бути зроблено різними способами, оскільки критерій оптимальності може бути введений по-різному, а головне, воно залежить від мети конкретної науки на певному етапі її розвитку в певному співтоваристві. Наведено міркування з цього питання для глибокої геоелектрики з ілюстрацією їх результатами досліджень астеносфери, отриманими в Європі.

Ключові слова: геоелектрика, обернена задача геофізики, база даних, астеносфера.

ON THE DATABASE CONSTRUCTION IN GEOELECTRICS

I.I. Rokityansky

Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, ave Palladin, 32, Kiev 03680, Ukraine, e-mail: rokityansky@gmail.com

One of the tasks of geoinformatics is optimal methodology of obtaining and storing knowledge/information in the particular branch of science. Solution of this problem can be done in many ways, as an optimality criterion can be introduced in different ways, and it depends on the specific science goals at this stage of its development in the community. Considerations on this matter are presented for deep geoelectrics, with an illustration of the asthenosphere study results in Europe.

Keywords: geoelectrics, geophysical inverse problem, database, asthenosphere.

References:

1. Berdichevskiy M.N., Dmitriev V.I. *Modeli i metody magnitotelluriki* [Models and methods of magnetotellurics]. Moscow, *Nauchnyy mir*, 2009, 680 p.
2. Van'yan L.L., Debabov A.S., Yudin M.N. *Interpretatsiya dannykh magnitotelluricheskikh zondirovaniy neodnorodnykh sred* [Interpretation of magnetotelluric sounding data of inhomogeneous media]. Moscow, *Nedra*, 1984, 198 p.
3. D'yakonova A.G., Ingerov A.I., Rokityanskiy I.I. *Elektromagnitnye zondirovaniya na Vostochno-Evropeyskoy platforme i Urale* [Electromagnetic sounding on the East European Platform and Ural]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1986, 140 p.
4. Kovtun A.A. *Ispol'zovanie estestvennogo elektromagnitnogo polya pri izuchenii elektroprovodnosti Zemli* [Using natural electromagnetic field in the study of the electrical conductivity of the Earth]. Leningrad, *Izdatel'stvo Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta*, 1980, 195 p.
5. Rokityanskiy I.I. *Otsenka pogreshnosti magnetovariatsionnogo zondirovaniya v otdel'noy tochke metodom matematicheskogo modelirovaniya* [Error estimate of magnetovariational sounding at a separate point by mathematical modeling]. *Voprosy geofizicheskikh issledovaniy na Ukraine* [Questions of Geophysical Research in Ukraine]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1972, pp. 219-227.
6. Rokityanskiy I.I. *Issledovanie anomalii elektroprovodnosti metodom magnetovariatsionnogo profilirovaniya* [Investigation of the electrical conductivity anomalies by magnetovariational profiling method]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1975, 279 p.
7. Rokityanskiy I.I. *Induktsionnye zondirovaniya Zemli* [Induction sounding of the Earth]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1981, 296 p.
8. Rokityanskiy I.I. *Fundamental'nye modeli anomalii elektroprovodnosti (1-D, 2-D)* [Fundamental models of electrical conductivity anomalies (1-D, 2-D)]. *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical Journal], 1988, vol. 10, no. 3, pp. 21-28.
9. Rokityanskiy I.I. *K vozmozhnosti zondirovaniya astenosfery* [To the possibility of asthenosphere sounding]. *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical Journal], 1990, vol. 12, no. 2, pp. 86-91.
10. Rokityanskiy I.I. *Zametki o geoelektrike* [Notes on geoelectrics]. *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical Journal], 2012, vol. 34, no. 4, pp. 235-244.
11. Adam A., Ernst T., Jankowski J., Jozwiak W., Hvozdar M., Szarka L., Wesztergom V., Logvinov I., Kulik S. Electromagnetic induction profile (PREPAN95) from the East European Platform (EEP) to the Pannonian basin. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 1997, vol. 32(1-2), pp. 203-223.
12. Backus G.E., Gilbert J.F. Numerical application of a formalism for geophysical inverse problem. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 1967, vol. 13, pp. 247-276.
13. Backus G.E., Gilbert J.F. Uniqueness in the inversion of inaccurate gross Earth data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1970, vol. 266, pp. 123-192.
14. Ernst T., Brasse H., Cerv V., Hoffmann N., Jankowski J., Jozwiak W., Kreutzmann A., Neska A., Palshin N., Pedersen L. Borsting, Smirnov M., Sokolova E., Varentsov I.M. Electromagnetic images of the deep structure of the Trans-European Suture Zone beneath Polish Pomerania. *Geophysical Research Letters*, 2008, vol. 35, doi:10.1029/2008GL034610.

15. Fournier H.G., Benderitter Y., Ferber J. Graphical geostructural synthesis in log-space of deep magnetotelluric soundings made in and around the Parisian basin. *4th annual Meeting of Earth Sciences*, Paris, April, 1976.
16. Ingerov A.I., Rokityansky I.I., Tregubenko V.I. Forty years of MTS studies in the Ukraine. *Earth Planets Space*, 1999, vol. 51, pp. 1127-1133.
17. Jones A.G., Plomerova J., Korja T., Sodoudi F., Spakman W. Europe from the bottom up: A statistical examination of the central and northern European lithosphere-asthenosphere boundary from comparing seismological and electromagnetic observations. *Lithos*, 2010, vol. 120, pp. 14-29.
18. Jozwiak W. Electromagnetic study of lithospheric structure in the marginal zone of East European Craton in NW Poland. *Acta Geophysica*, 2013, vol. 61, no. 5, pp. 1101-1129.
19. Jozwiak W. Large-scale crustal conductivity pattern in Central Europe and its correlation to deep tectonic structures. *Pure and Applied Geophysics*, 2012, vol. 169, pp. 1737-1747.
20. Korja T. How is the European lithosphere imaged by magnetotellurics? *Surveys in Geophysics*, 2007, vol. 28, pp. 239-272.
21. *Physics Today*, January, 2003, p.21.
22. Schultz A., Larsen J.C. On the electrical conductivity of the mid-mantle: I. Calculation of equivalent scalar magnetotelluric response function. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 1987, vol. 88, pp. 733-761.
23. Semenov V.Yu., Józwiak W. Lateral variations of the mid-mantle conductance beneath Europe. *Tectonophysics*, 2006, vol. 16, pp. 279-288.
24. *Synopsis of Symposium 17. The Electrical Conductivity and Characteristics of the Asthenosphere*, Assambly IUGG, Canberra, December, 1979, p. 524.
25. Varentsov Iv.M., Sokolova E.Yu., Martanus E.R. Array view on electromagnetic transfer functions in the EMTESZ-Pomerania Project. *Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences*, 2005, C-95(386), pp. 107-121.

Поступила в редакцию 05.12.2013 г.

Received 05/12/2013