Руководство по автоматической инверсии данных ВЭЗ и MASW с использованием программы ВЭЗ Мастер

Версия программы 2.3.1g от 19.09.2014
Версия руководства от 06.06.2019
©2016-2019 С.В. Шакуро

“Dedicated to you, but you weren't listening…”
The Keith Tippett Group, 1971

1. Исходные полевые данные для инверсии

Автоматическая количественная интерпретация (инверсия) данных выполняется только для набора кривых зондирования (профиля). Специальной опции для инверсии единичной кривой зондирования в программе нет.

Полевые данные для инверсии могут быть представлены в форматах:
-*.es (ВЭЗ Мастер),
-*.dtg (IPI),
-*.zlf (ZondIP1d).

Количество пунктов зондирования в одном файле данных – до 800, количество точек на кривой зондирования – до 60. Предусмотрен пакетный режим обработки, при котором последовательно выполняется инверсия набора файлов любых поддерживаемых форматов; количество файлов в наборе не ограничено.

Данные ВЭЗ в каждой точке наблюдения должны быть представлены в виде набора значений кажущегося сопротивления, для каждого из которых однозначно задана геометрия физической установки зондирования.

По этой причине, для данных, представленных в формате *.dat программы IPI (и подобных) инверсия невозможна, а при использовании формата *.dtg (и подобных) в параметрах установки зондирования должны быть заданы ненулевые значения длины линии MN.

При использовании формата *.dtg априори полагается, что данные записаны симметричной установкой Шлюмберже; ключи, задающие тип установки, игнорируются.

В случае использования данных ВЭЗ в формате *.es:

- Для каждой используемой на профиле установки зондирования должны быть заданы параметры «A1M», «A1N», «B1M», «B1N» (или только «A1M», «A1N» в случае использования центрально-симметричных установок типа Шлюмберже или Веннера).

При использовании любых форматов файлов поддерживаются данные ВЭЗ-ВП. Значения кажущейся поляризуемости должны быть заданы в процентах.

Данные MASW читаются только из файлов в формате *.es. Реализована возможность импорта дисперсионных кривых из программ ZondST2d и SeisImager (Рисунок 1). Желательно, чтобы дисперсионные кривые в исходных файлах были оцифрованы с постоянным шагом по частоте.

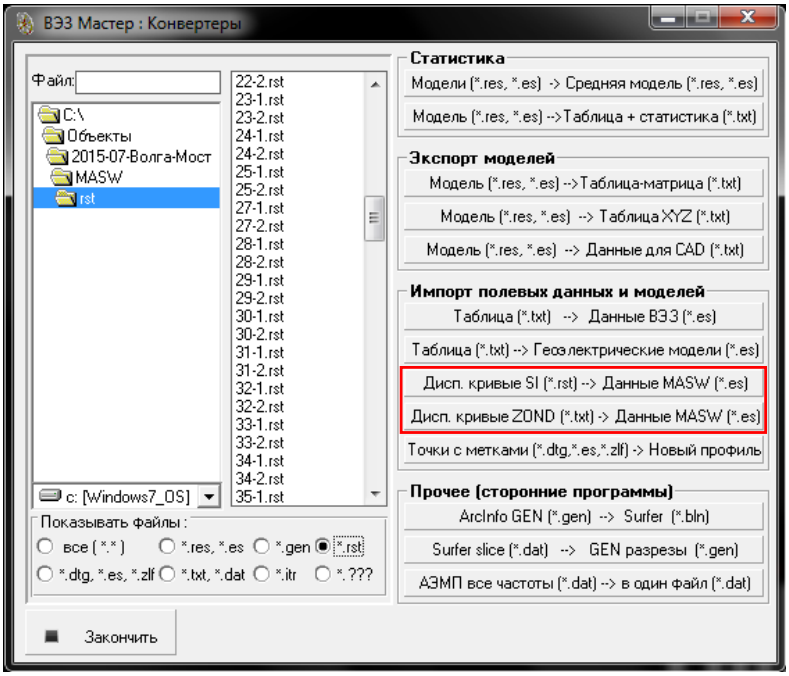

Рисунок 1 Форма «ВЭЗ Мастер: Конвертеры». Опции импорта данных MASW

Каждая точка наблюдения на профиле, помимо собственно данных зондирования, может характеризоваться абсолютной отметкой, расстоянием от начала профиля, азимутом наблюдения и прочими атрибутами, из которых в ходе инверсии может быть учтена только абсолютная отметка; прочие атрибуты игнорируются. При создании начальных моделей может быть учтён атрибут «Мощность первого слоя», что имеет смысл, в первую очередь, при обработке данных акваторных зондирований.

2. Общие сведения об алгоритме автоматической инверсии

Прямая задача

Расчёт теоретических кривых зондирования метода сопротивлений выполняется методом линейной фильтрации /Куфуд, 1984/. Над горизонтально-слоистой средой рассчитываются дискретные значения кажущегося сопротивления для каждой физической расстановки установки зондирования с одной конечной приёмной линией и произвольным количеством произвольно расположенных и произвольно ориентированных питающих линий. Значение потенциала на каждом приёмном электроде вычисляется как суперпозиция потенциалов всех питающих электродов.

Дисперсионные кривые MASW рассчитываются с использованием стороннего модуля (GEOPSY, ©Marc Wathelet, http://www.geopsy.org).

Обратная задача

Обратная задача решается отдельно для каждого пункта зондирования, без учёта полевых данных в соседних точках. При этом полевые данные ни коим образом не трансформируются: ни сглаживаются, ни интерполируются и т.д.

Логика размещения опций настройки в окне ВЭЗ Мастер : Инверсия данных зондирования подразумевает использование вероятностных методов и получение на выходе набора

равновероятных разрезов (Рисунок 2). Однако, при параметрах, загружаемых по умолчанию, создаётся один разрез в режиме *прямой инверсии* (см. ниже).

Автоматическая инверсия выполняется по оригинальному алгоритму *кратных приближений*, блок-схема которого представлена на рисунке 3. Процесс подбора оптимальной слоистой модели разреза по профилю разбит на несколько этапов (циклов). В рамках одного цикла параметры каждого слоя в каждом пункте зондирования в процессе итераций многократно изменяются с одинаковой заранее заданной амплитудой A_i. Для каждого последующего цикла амплитуда изменений параметров слоёв в ходе итераций в два раза уменьшается: $A_{i+1}=A_i/2$. При установках программы по умолчанию выполняется 5 циклов: в ходе первого цикла параметры каждого слоя (для данных ВЭЗ: сопротивление или сопротивление и мощность) изменяются на A_1=50%, в ходе второго цикла – на A_2=25%, последнего – на A_5=3.125%.

Стратегия отбора вариантов изменения параметров слоистой модели при итерациях и критерий перехода к следующему циклу инверсии зависит от используемого режима (рисунок 2).

Режим 1. Прямая инверсия. В ходе каждой итерации перебираются все варианты изменения всех параметров всех слоёв на фиксированную величину A_i. Вариант (изменение одного параметра одного слоя), дающий наилучшую невязку, применяется к модели. На следующей итерации действия повторяются. Так продолжается до тех пор, пока не будет сформирована модель, для которой изменение любого параметра на текущую фиксированную величину A_i приводит только к ухудшению невязки. Таким образом цикл инверсии естественным образом заканчивается. Происходит переход к следующему циклу, где параметры слоёв модели будут варьироваться со вдвое меньшей амплитудой. При этом числовое значение невязки и скорость её изменения в ходе итераций никакой роли не играют. Блок-схема алгоритма метода кратных приближений при прямой инверсии показана на Рисунке 3.

Режим 2. Стохастическая инверсия. Алгоритм такой же, как при *прямой инверсии*, за исключением того, что в ходе итераций к модели, с определённой вероятностью (заданной через интерфейс программы, см. Рисунок 2 , окно 2), могут применяться не самые оптимальные в смысле улучшения невязки изменения: с равной вероятностью второе или третье по значению невязки, но только в том случае, если такой вариант изменения модели улучшает невязку по сравнению с исходной.

Режим 3. Метод Монте-Карло. Все изменения модели на заданную фиксированную величину происходят случайным образом, причём, в отличие от предыдущих режимов, за одну итерацию на A_i изменяются все параметры всех слоёв. К модели применяются любые изменения, улучшающие невязку. Критерий остановки цикла с фиксированной амплитудой изменений: достижение заданного количества итераций. При выборе опции «Метод Монте-Карло» количество итераций необходимо задать вручную (см. гл. 8, Рисунок 15 Дополнительные параметры алгоритма инверсии).

Подписи режимов в окне параметров инверсии (Рисунок 2) далеки от совершенства. Так, уменьшение невязки, конечно же, является единственным критерием изменения модели в процессе итераций при всех трёх режимах инверсии. Только в ходе *прямой* и *стохастической* инверсии производится отбор наилучшего или близкого к нему варианта, а в *методе Монте-Карло* сразу применяется любое изменение, хоть сколько-нибудь улучшающее невязку. Очевидно, флажок «Уменьшение невязки» было бы логичнее назвать «Оптимизация невязки».

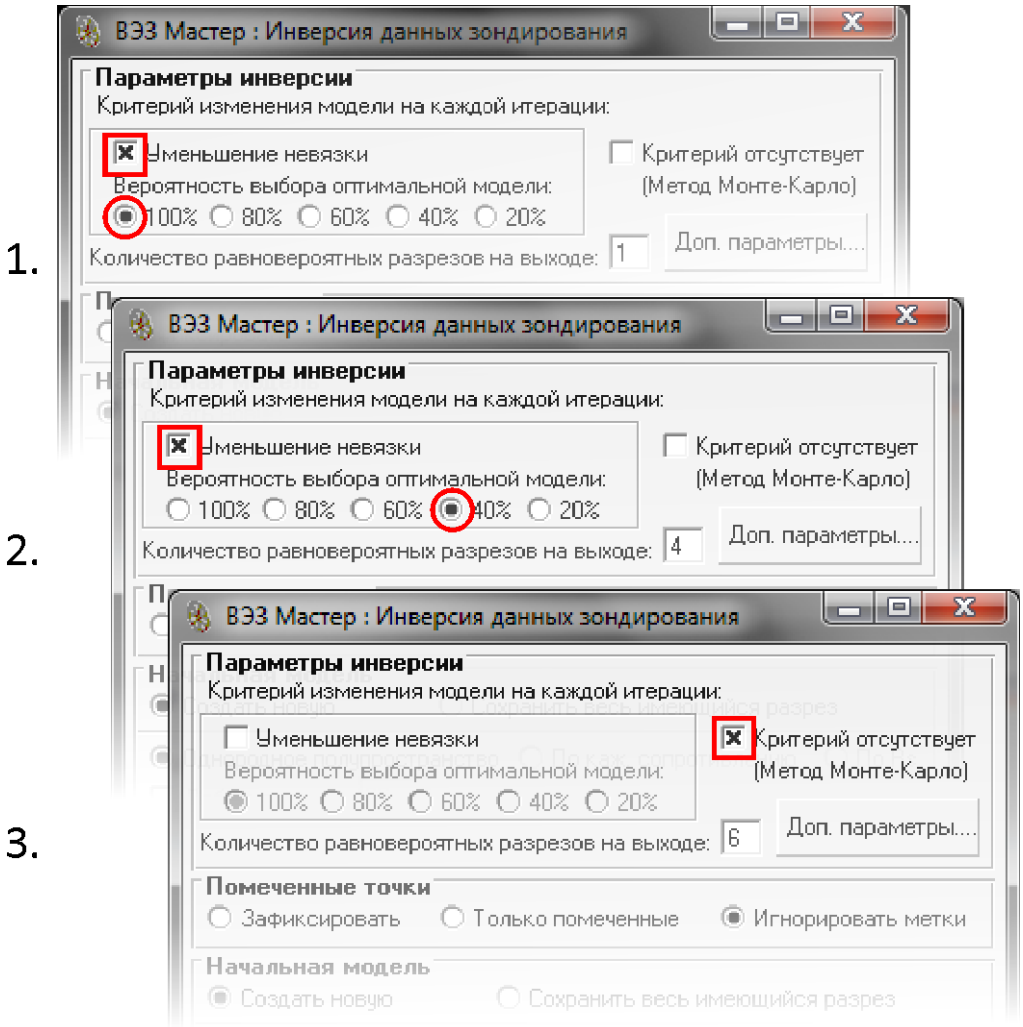

Рисунок 2 Режимы инверсии. 1 - прямая инверсия, 2 - стохастическая инверсия, 3 - метод Монте-Карло

В промежутках между циклами инверсии выполняется горизонтальное сглаживание разреза, в результате чего на каждом всё более «точном» цикле инверсии в качестве начальной модели в каждом пункте зондирования используется набор слоёв, параметры которых не только грубо соответствуют полевым данным, но и определённым образом приближены к соседним на профиле. Так, с одной стороны, сохраняется примат полевых данных, поскольку в каждой точке наблюдения единственным критерием подбора модели разреза является только минимизация невязки между наблюдёнными и расчётными кажущимися значениями. С другой стороны, слоистые модели в соседних пунктах зондирования оказываются увязанными друг с другом, и в результате работы алгоритма получаются правдоподобные горизонтально-слоистые разрезы по профилю. Более подробно о сглаживании см. главу 7 Горизонтальное сглаживание разреза.

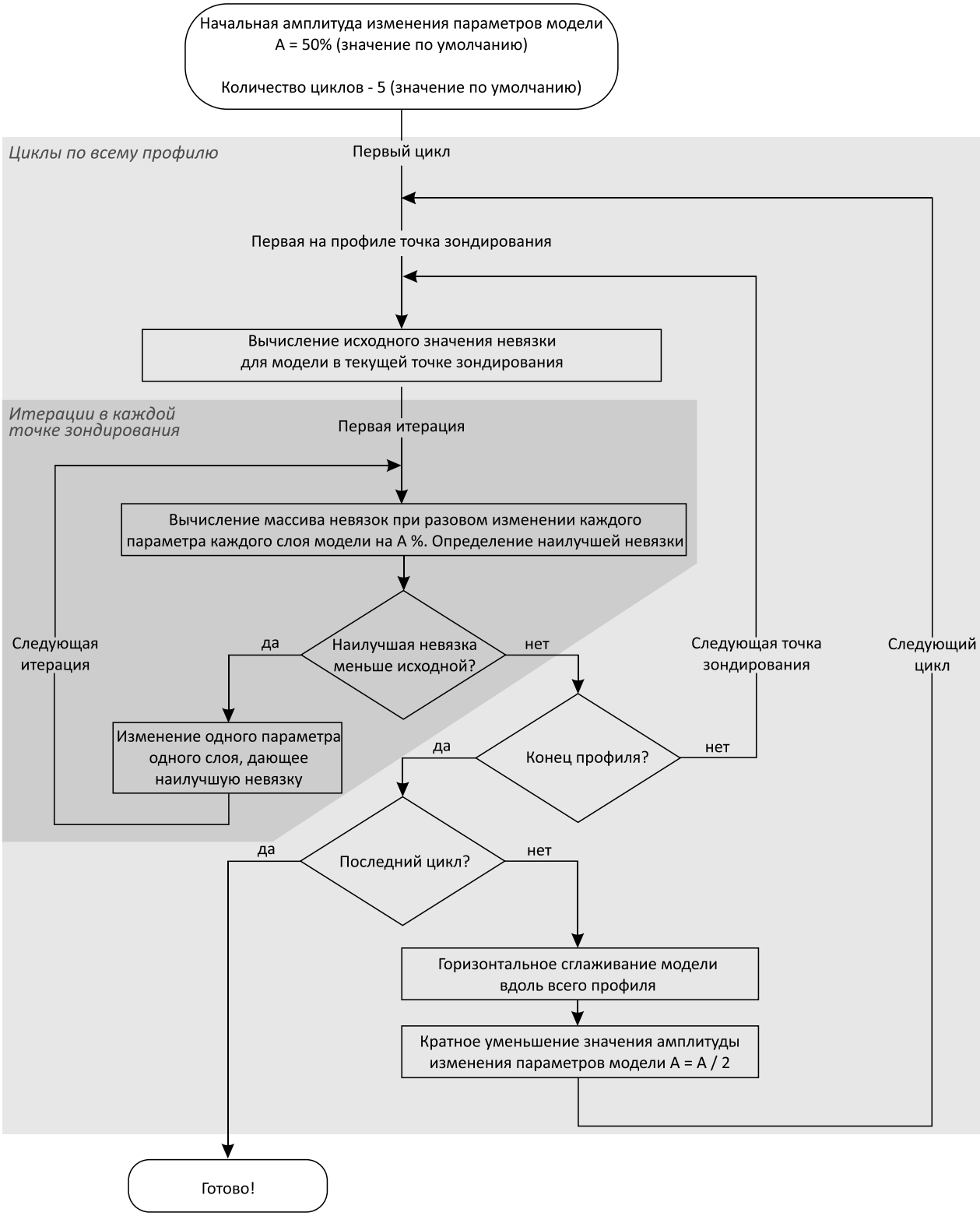

Рисунок 3 Блок-схема алгоритма метода кратных приближений при прямой инверсии

3. Инверсия данных по профилю

Инверсия может быть выполнена (Рисунок 4):

1) для всех точек профиля,
2) только для помеченных точек,

3) напротив, слоистые модели в помеченных точках наблюдения в ходе инверсии данных по профилю могут сохраняться неизменными.

Режим 2 логично использовать, когда к удачно проинтерпретированному профилю добавляются новые точки наблюдения. Режим 3 предназначен для увязки пересекающихся профилей или учёта параметрических данных. В первом случае готовая слоистая модель в текстовом редакторе (например, Блокноте) вставляется в файл модели (*.res или *.es; в *.es-файле это ключи «*Model H*» и «*Model Ro*»), а в точке наблюдения ставится метка (через интерфейс программы или ключ в *.es-файле «*Model Fixed=-1*»). Во втором случае, если имеется информация по пробуренным на профиле скважинам и уверенность в тесной связи литологии и изучаемого физического параметра, кривые зондирования на скважинах интерпретируются с учётом геологии в «ручном» режиме и перед инверсией данных по всему профилю помечаются. В результате работы алгоритма инверсии, за счёт горизонтального сглаживания, модели в точках, ближайших к помеченным, оказываются «подтянутыми» к зафиксированным.

По умолчанию метки на профиле игнорируются.

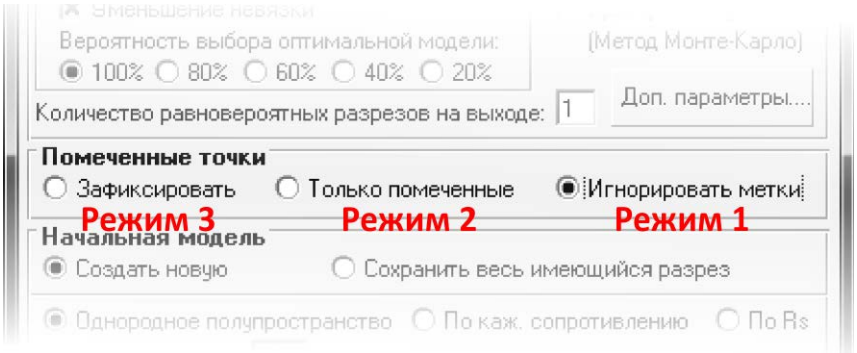

Рисунок 4 Варианты учёта помеченных точек зондирования

4. Создание начальной модели

При создании начальной слоистой модели разреза существуют следующие возможности (Рисунок 5).

- Создать новую модель для всего профиля или воспользоваться существующей (при наличии).
- Начальные значения параметров всех слоёв (УЭС и поляризуемость в случае ВЭЗ и Vs в случае MASW) задать как:
  - среднее геометрическое кажущихся значений («Однородное полупространство»),
  - послойно в соответствии с кажущимися значениями и примерной глубинностью установки зондирования («По каж. сопротивлению»),
  - послойно в соответствии с трансформантой кажущихся значений и примерной глубинностью установки зондирования («По Rs»). В случае электрозондирования трансформанта Rs пропорциональна дифференциальному (по S) сопротивлению, глубина – *Median Depth of Investigation* /Loke, 2016/. В случае MASW и МПВ используется более простая априорная линейная зависимость.
- К любой вновь создаваемой начальной модели можно добавить шум, значение которого задаётся в соответствующем окне в процентах. Эта опция позволяет исследовать влияние первого приближения на конечный результат при выбранных геометрии и режиме инверсии, а также получить набор равновероятных разрезов даже при *прямой инверсии*,

когда в ходе итераций к модели применяются только оптимальные в смысле невязки изменения.

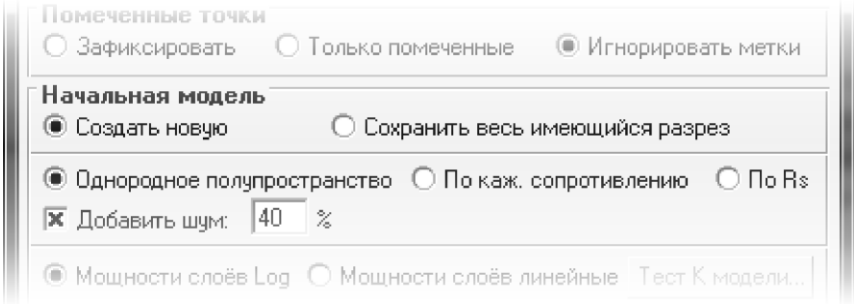

Рисунок 5 Опции, контролирующие создание начальной модели

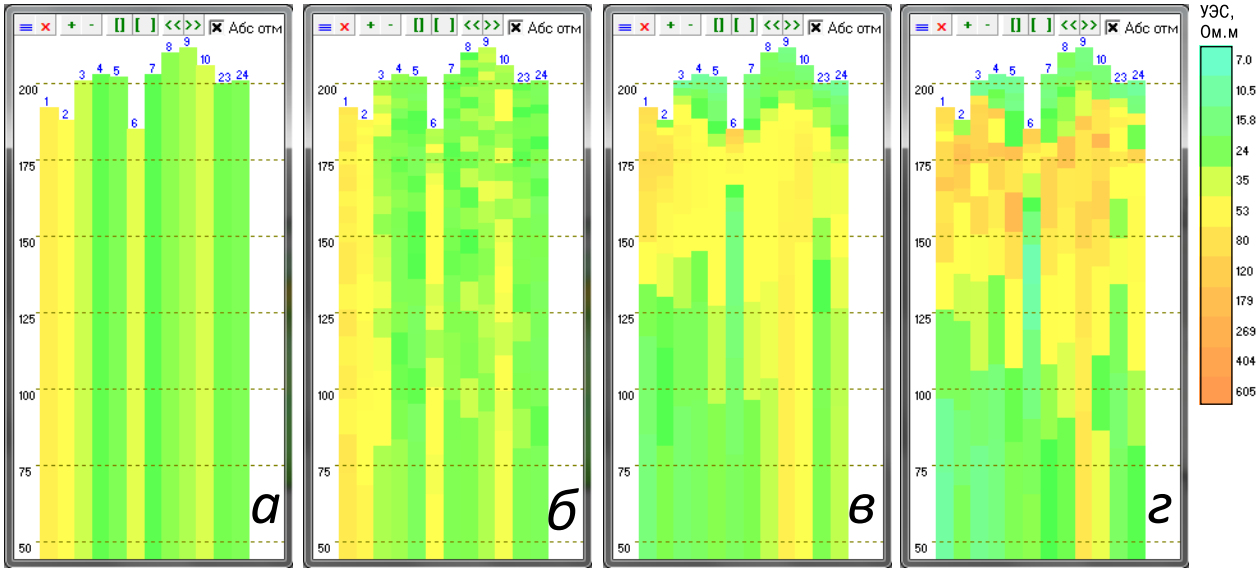

Рисунок 6 Варианты начальных моделей: а) однородная; б) однородная плюс шум 30%; в) по кажущемуся сопротивлению; г) по Rs

5. Геометрия слоистой модели

При создании начальной слоистой модели вдоль профиля все модели в точках наблюдения разбиваются на равное количество слоёв (от 2 до 60), мощность которых растёт с глубиной либо по логарифмическому, либо по геометрическому закону. В обоих случаях мощности слоёв рассчитываются исходя из задаваемых оператором количества слоёв модели и минимальной и максимальной глубины изучения разреза (Рисунок 7). Следует обратить внимание, что здесь минимальная и максимальная глубина изучения – это не подошва и кровля первого и последнего слоёв, а их «серединная» часть. Поэтому для того, чтобы при заданном количестве слоёв получить подошву первого слоя начальной модели, скажем, на глубине ровно 1 метр, а кровлю последнего ровно на глубине 50 метров, придётся поэкспериментировать с обеими цифрами «Глубины изучения». Для этого можно воспользоваться опцией «Создать начальные модели и остановиться» (расположена в правом нижнем углу формы): в этом случае, если созданная начальная модель не устраивает, можно не выполнять инверсию, а вернуться к настройке параметров. Естественно, на экране при этом должно отображаться окно разреза.

По умолчанию, минимальная и максимальная глубина изучения разреза для установки электрозондирования вычисляются как *Median Depth Of Investigation* на первом и предпоследнем разносах. Если щёлкнуть по соответствующему значку **>>**, можно выбрать номер разноса для

вычисления *Median Depth*. Впрочем, эти параметры рекомендуется в каждом случае подбирать вручную. В частности, практически всегда сильно завышенной представляется выставленная по умолчанию мощность первого слоя. **При работе в инженерном интервале глубин для данных MASW и установок ВЭЗ с максимальным полуразносом AB/2max = 70...150 м рекомендуется вручную выставить следующие значения глубины изучения: минимальная – 0.3 м, максимальная – 30 м.**

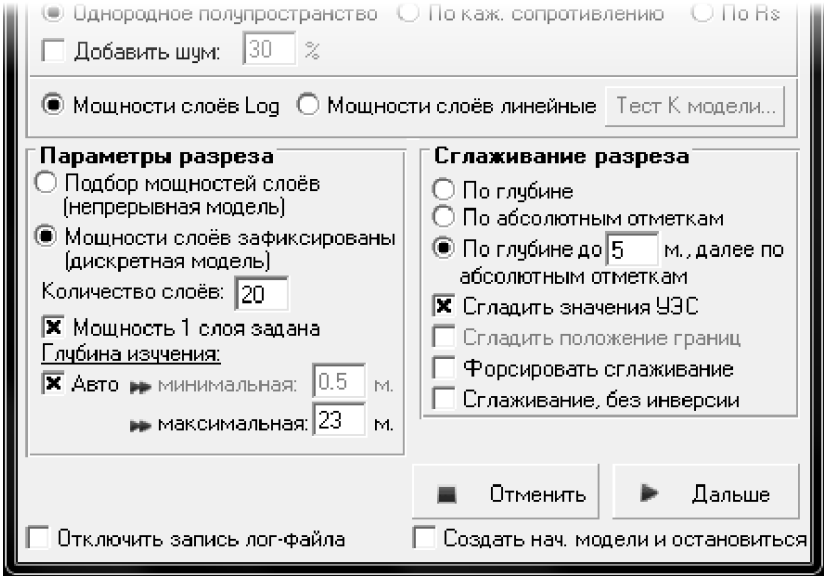

Рисунок 7 Опции настройки геометрии модели и горизонтального сглаживания

В соответствии с логарифмическим законом роста, мощности слоёв могут быть рассчитаны при любом их количестве и сочетании параметров глубинности. При вычислении мощностей по линейной зависимости может возникнуть ситуация, когда при заданных минимальной, максимальной глубинности и количестве слоёв невозможно обеспечить рост мощности каждого нижележащего слоя. Автоматического контроля такой ситуации в программе нет; реализована проверка модели в «ручном» режиме, которая происходит при нажатии на кнопку **[**Тест К модели…**]**. Оба возможных результата проверки показаны на Рисунке 8.

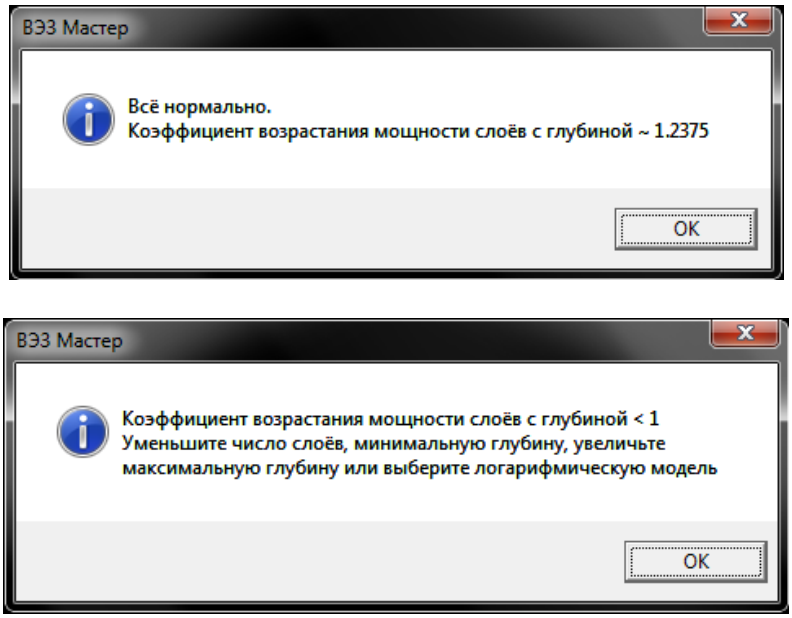

Рисунок 8 Положительный (вверху) и отрицательный (внизу) результаты теста геометрии модели с линейным ростом мощностей слоёв с глубиной

В случае, когда во всех или некоторых точках наблюдения известно точное значение мощности первого слоя (в первую очередь это относится к данным электрозондирования на акваториях с плавающими электродами), можно использовать его при создании начальной модели. Для файлов в формате *.es соответствующее значение должно быть введено в поле «Мощность 1 слоя, глуб. до УГВ» окна редактирования данных (Рисунок 9). К файлам данных других форматов сведения о мощности первого слоя могут быть подключены из простой текстовой таблицы, содержащей столбцы с номером точки наблюдения и мощностью, через меню *Файл/Дополнительные данные/Прочитать из таблицы…* Порядок следования точек наблюдения в таблице и их количество значения не имеют.

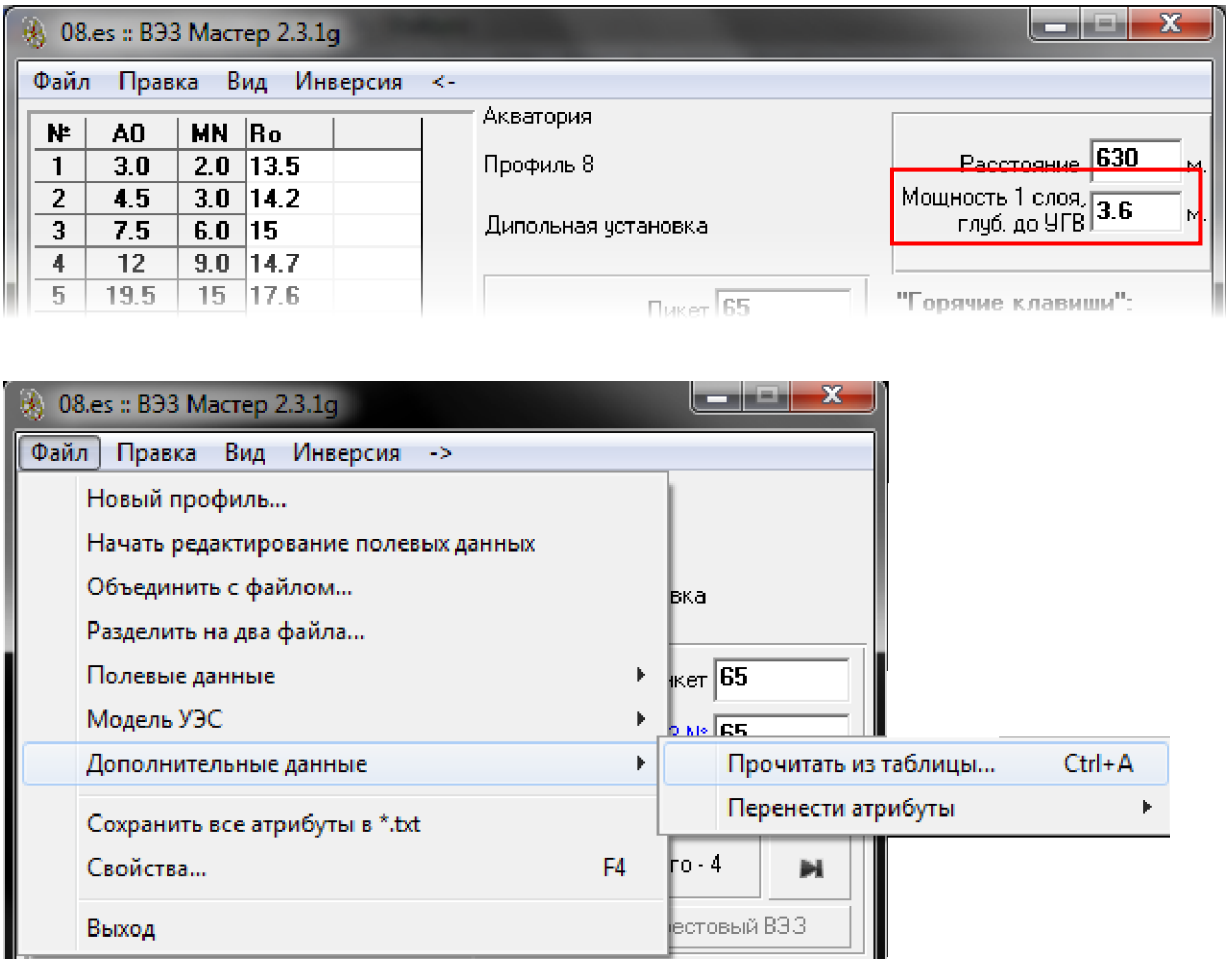

*Рисунок 9 Ввод сведений о мощности первого слоя для файлов в формате *.es (вверху) и других (внизу)*

При настройке опций инверсии флажок «Мощность 1 слоя задана» делается активным (и автоматически включается) в том случае, если этот параметр одним из вышеперечисленных способов задан в текущей точке наблюдения.

Для предотвращения сбоев, заданная мощность первого слоя учитывается только при создании моделей с логарифмическим ростом мощностей слоёв по глубине.

При *прямой* и *стохастической* инверсии заданная мощность первого слоя всегда остаётся неизменной. При инверсии *методом Монте-Карло* в режиме подбора мощностей слоёв (*непрерывная модель,* см. гл. 6 Дискретная и непрерывная слоистые модели), заданная на этапе формирования начальной модели мощность первого слоя не сохраняется.

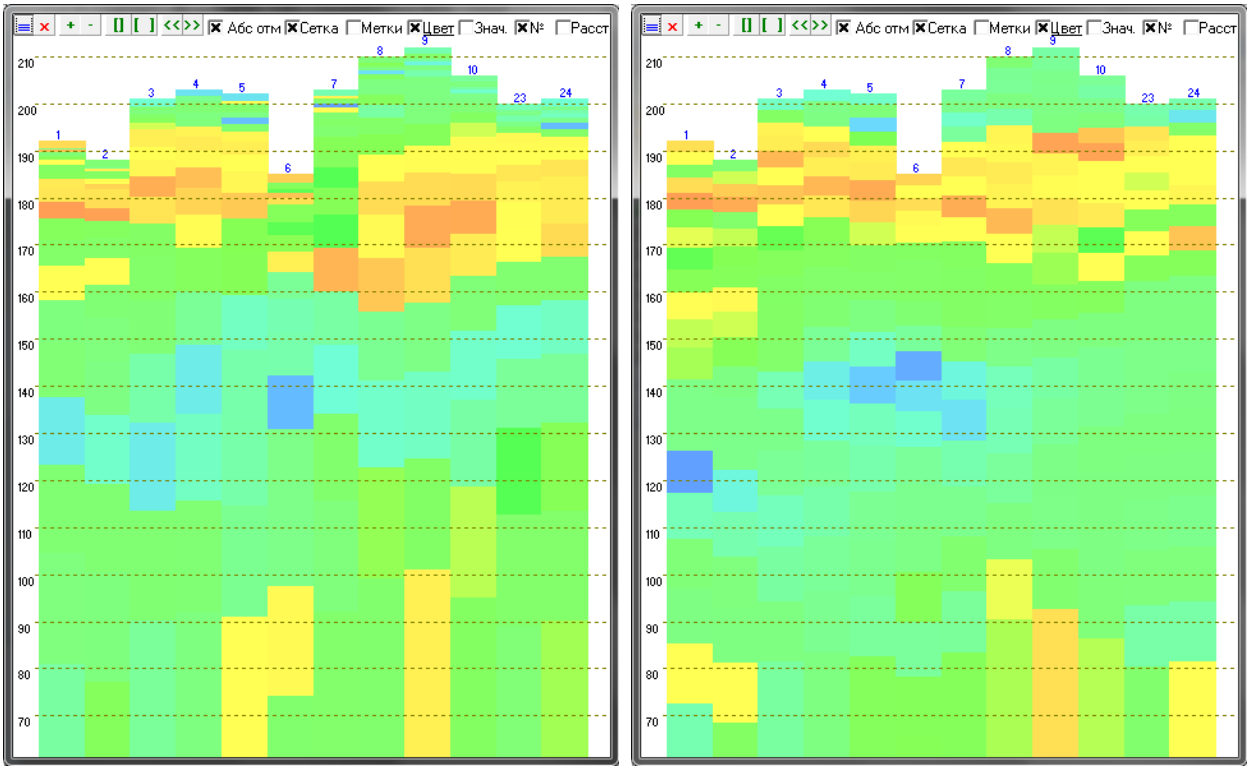

Рисунок 10 Разрезы с логарифмическим (слева) и линейным (справа) ростом мощностей слоёв. Результаты автоматической инверсии реальных полевых данных

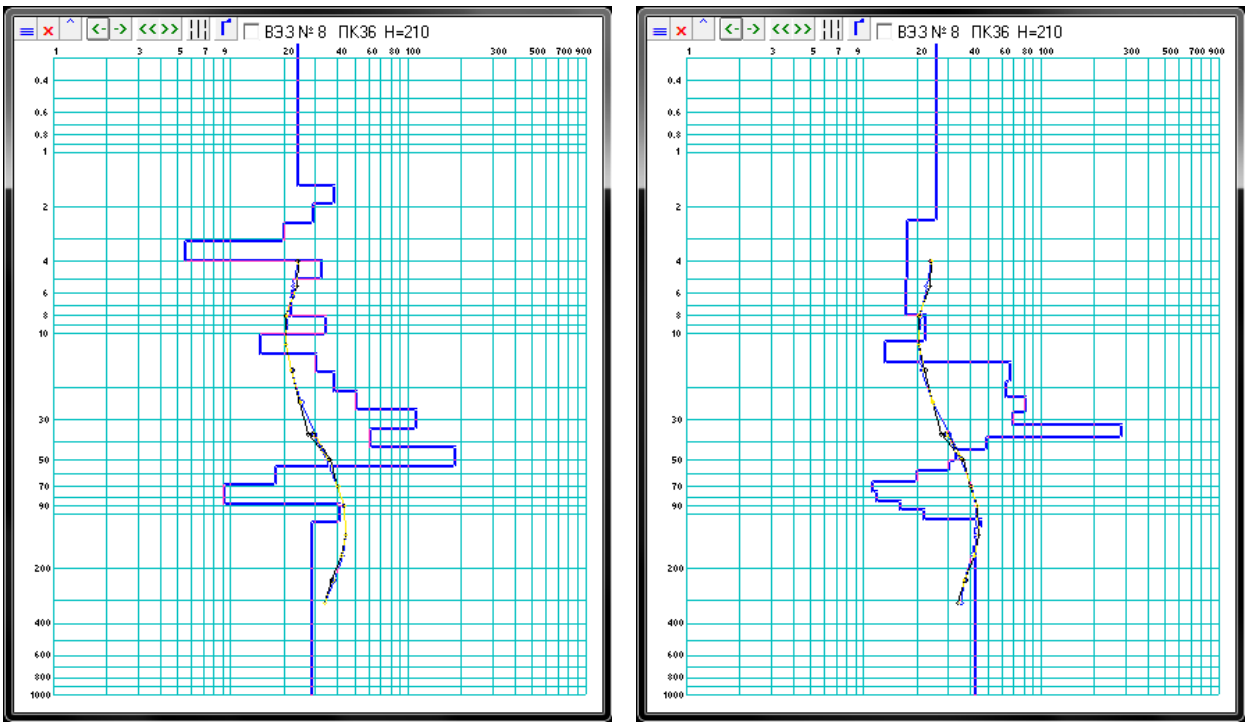

Рисунок 11 Слоистые модели с логарифмическим (слева) и линейным (справа) ростом мощностей слоёв на билогарифмическом бланке

Логарифмическая модель разреза хороша тем, что соответствует теории электрозондирования, идеально смотрится на билогарифмическом бланке («равные» мощности слоёв по всей глубине –

Рисунок 11 слева) и без проблем назначается при любых заданных значениях минимальной/максимальной глубинности и количества слоёв. Но при большом числе слоёв и мощном первом слое разрезы, построенные в линейном масштабе, выглядят немного странно.

Модели с линейным ростом мощностей не очень хорошо выглядят на билогарифмическом бланке (мощность слоёв с глубиной как бы падает – Рисунок 11 справа), но гораздо выгоднее смотрятся на разрезе. С точки зрения теории они, возможно, более естественны для метода MASW.

Всё вышесказанное относится исключительно к очень многослойным (15 и более слоёв) *дискретным* моделям, мощность слоёв в которых в ходе инверсии не изменяется. Для 3...5-слойных *непрерывных* моделей с подбором мощностей в ходе инверсии никакой практической разницы в способах задания закона изменения мощностей слоёв начальной модели нет.

6. Дискретная и непрерывная слоистые модели

Автоматический подбор слоистой модели разреза производится с точки зрения двух различных взглядов на ожидаемые результаты зондирования.

В соответствии с первым, классическим, подходом, результатом количественной интерпретации наблюдённой кривой зондирования принято считать модель, сложенную небольшим количеством слоёв, каждый из которых характеризуется собственными мощностью и УЭС (поляризуемостью, Vs, Vp и проч.). При этом предполагается, что выделяемые границы слоёв соответствуют реальным геологическим границам. В интерфейсе программы такая модель названа *непрерывной* в том смысле, что она даёт однозначную характеристику изучаемого физического параметра на любой взятой наугад глубине.

Второй подход предполагает отказ от непосредственного выделения границ между слоями и определение физических характеристик пород только в окрестности сколь угодно большого числа узлов, глубина до которых задана заранее. Такую модель можно назвать *дискретной*, поскольку она не даёт сплошной характеристики физических свойств какого-либо конкретного геологического слоя (для чего необходимо выполнить интегрирование полученных значений между его кровлей и подошвой).

В практическом смысле, выбор *дискретной* модели означает разбиение разреза на большое количество тонких слоёв (по умолчанию – 20 для ВЭЗ и 15 для MASW) с фиксированной мощностью. В ходе инверсии положение их границ остаётся неизменным, подбираются только значения УЭС (поляризуемости, Vs). При выборе *непрерывной* модели предполагается, что разрез разбит на некоторое количество слоёв существенной мощности (по умолчанию – 5 слоёв), а в процессе инверсии подбираются и сглаживаются не только значения физических параметров каждого слоя, но и положение их границ.

Практика показывает, что рассматриваемый алгоритм попрофильной инверсии, как правило, даёт наиболее правдоподобное решение (или семейство решений) именно в рамках *дискретной* тонкослоистой модели. При этом с уменьшением мощности слоёв модели увеличивается точность определения положения кровли и подошвы мощных высокоомных и низкоомных пачек. Приемлемого решения в рамках классической *непрерывной* модели с малым количеством слоёв переменной мощности обычно удаётся добиться только при плавных изменениях кривых зондирования вдоль профиля и хорошем качестве полевых данных (Рисунок 12).

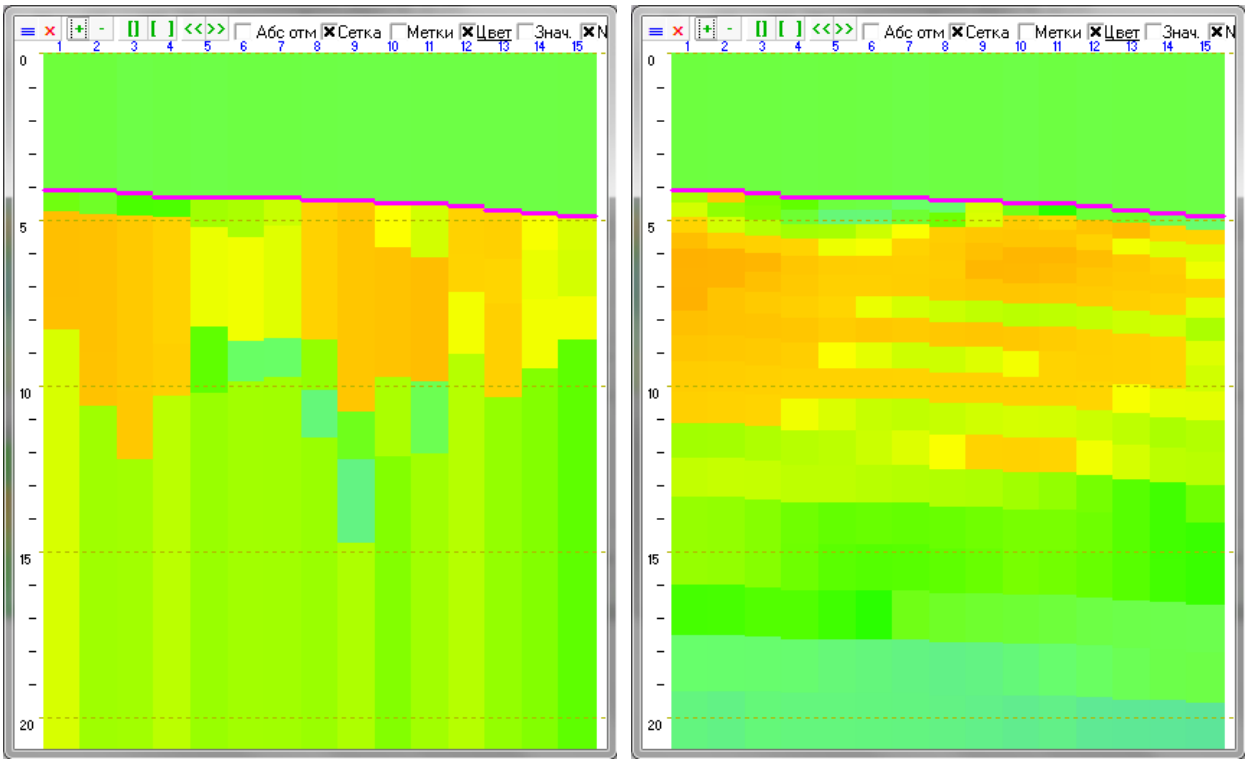

Рисунок 12 Результаты инверсии в рамках непрерывной (слева) и дискретной (справа) моделей. Речная электроразведка, фиксированная мощность первого слоя, форсированное сглаживание

7. Горизонтальное сглаживание разреза

Увязанный по профилю горизонтально-слоистый разрез на выходе алгоритма инверсии получается за счёт горизонтального сглаживания моделей, которое выполняется после каждого, кроме последнего, цикла кратных вариаций параметров моделей в пунктах зондирования (Рисунок 3 Блок-схема алгоритма метода кратных приближений при прямой инверсии). Контроль изменения невязки в процессе сглаживания отсутствует.

Таким образом, рассматриваемый алгоритм инверсии можно представить как работу двух разнонаправленных процессов: минимизации невязки, который разрушает горизонтально-слоистую структуру разреза, и горизонтального сглаживания, который увеличивает невязку между расчётной и наблюдённой кривой зондирования. Тонкая настройка параметров инверсии, в общем-то, и заключается в нахождении баланса между этими процессами и должна выполняться для каждого профиля зондирования.

При расчленённом рельефе местности и известных высотных отметках точек наблюдения необходимо, на основании априорных сведений о геологии района, заранее решить вопрос о характере слоистости разреза. В случае, когда на всю глубину исследования развиты отложения, залегающие согласно с рельефом дневной поверхности, логично выполнять сглаживание, исходя из глубины залегания слоёв (опция «По глубине», Рисунок 7). В случае картирования границ в отложениях, залегающих субгоризонтально (Рисунок 10), сглаживание разреза должно выполняться исходя из абсолютных отметок слоёв (опция «По абсолютным отметкам», Рисунок 7). В смешанном случае, когда коренные осадочные породы перекрыты маломощным чехлом четвертичных отложений, в верхней части разреза сглаживание выполняется по глубинам, в нижней – по абсолютным отметкам. В этом случае ориентировочная мощность четвертичных отложений – глубина, ниже которой сглаживание выполняется по абсолютным отметкам – должна

быть задана заранее (опция «По глубине до [ ]м, далее по абсолютным отметкам» Рисунок 7). Опыт показывает, что удовлетворительный результат в этом случае даёт даже грубая оценка мощности верхней пачки, поскольку влияние сглаживания на результаты инверсии достаточно мягкое. Опция включается автоматически, если для пунктов зондирования заданы значения высотных отметок.

В каждой операции сглаживания участвуют три модели: из двух крайних создаётся референсная (эталонная), к которой «подтягиваются» параметры центральной модели. Принцип создания референсной модели и получаемый результат можно изучить, экспериментируя с командой *Создать начальную модель/По соседним точкам,* которая доступна из контекстного меню окна графики (Рисунок 13). При этом «средняя» эталонная модель создаётся с учётом или без учёта высотных отметок точек наблюдения в зависимости от режима сглаживания, установленного в окне параметров инверсии (Рисунок 7). Здесь же можно создать начальные модели *«По каж. сопротивлению»*, *«По дифф. сопротивлению»* и *«Однородную»*, обсуждаемые в главе 4 Создание начальной модели.

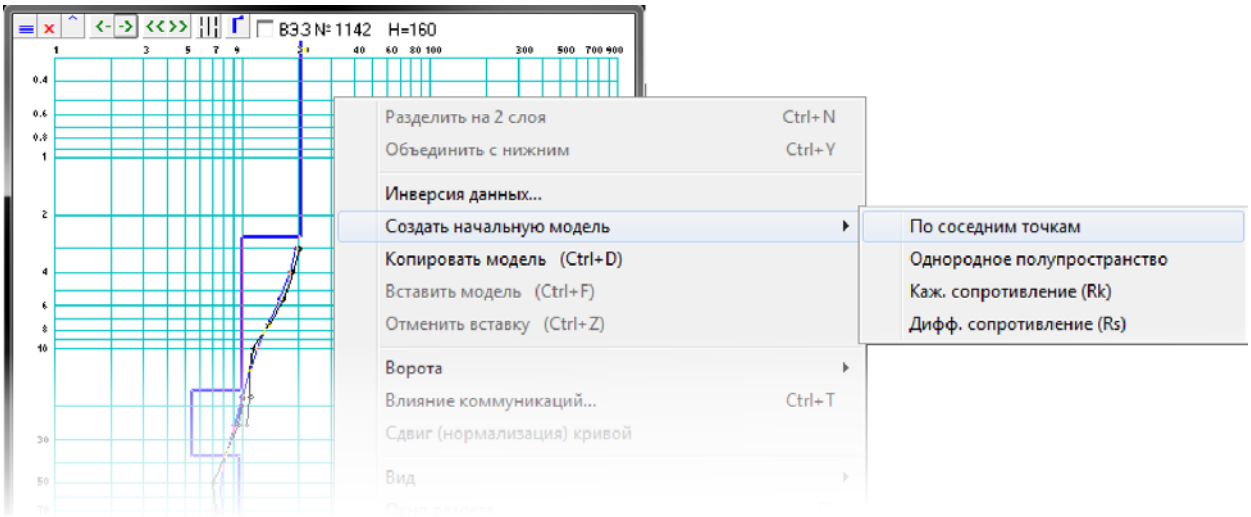

Рисунок 13 Создание референсной модели для текущего пункта зондирования в ручном режиме

В принципе, ничто не мешает реализовать сглаживание не по двум соседним моделям, а по, скажем, четырём, или учитывать заданное расстояние между точками наблюдения. Однако применяемый подход подразумевает, что полевые работы выполнены методически верно: шаг наблюдений обеспечивает корреляцию кривых в соседних точках наблюдения, в необходимом объёме выполнена детализация. Поэтому во всех случаях следует рассматривать только соседние пункты зондирования, а расстояние между ними никакого значения не имеет.

Степень сглаживания всех слоёв после каждого цикла инверсии задаётся фиксированной амплитудой изменения параметров модели в ходе итераций на последующем цикле ($A_i/2$). Если этого оказывается недостаточно, можно использовать *форсированное сглаживание*, когда после каждого цикла минимизации невязки выполняется не один, а несколько проходов сглаживания с кратно затухающей амплитудой. Опция *форсированного сглаживания* предназначена, в первую очередь, для инверсии, которая выполняется в рамках *непрерывной* модели (Рисунок 14). Для *дискретной* модели результат может оказаться неестественно заглаженным (Рисунок 12, справа).

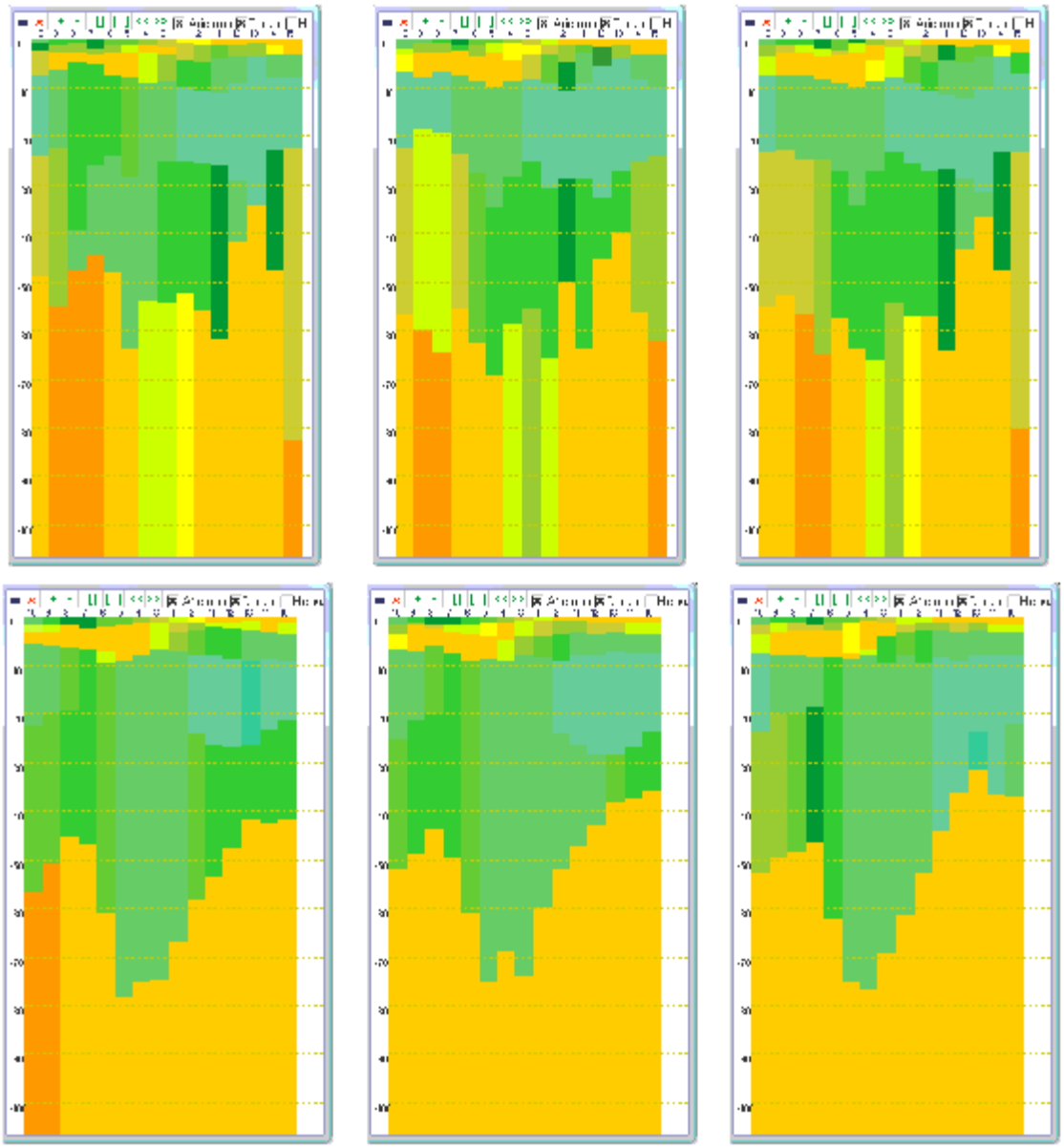

Рисунок 14 Результаты инверсии в рамках непрерывной модели при обычном (вверху) и форсированном (внизу) сглаживании. Стохастическая инверсия, вероятность выбора оптимальной модели 60%; на выходе 3 равновероятных разреза. Начальная модель: по Rs, 6 слоёв

8. Дополнительные параметры алгоритма инверсии

Окно настройки дополнительных параметров инверсии вызывается через меню *Файл/Параметры метода кратных приближений* основного окна приложения или нажатием на кнопку **[Доп. параметры]** в окне ВЭЗ Мастер : Инверсия данных зондирования (Рисунок 15 Дополнительные параметры алгоритма инверсии).

Рекомендуемые значение количества циклов – от 3 до 6, начальной амплитуды изменения параметров модели 20…60%.

Параметр максимальное число итераций (по умолчанию – 60) при *прямой* и *стохастической* инверсии практически никогда не задействуется, поскольку алгоритм, как правило, сходится после 10…20 итераций. Исключение иногда составляют данные ВЭЗ-ВП при инверсии в рамках *непрерывной* модели, когда благодаря соревновательному алгоритму вариаций мощности слоёв моделей УЭС и поляризуемости может происходить зацикливание. При инверсии *методом*

Монте-Карло (см. главу 2 Общие сведения об алгоритме автоматической инверсии) этот параметр критически важен, его значение нужно задавать вручную – по опыту, не менее 500. Значения 1000, 3000 вполне приемлемы.

Параметр разрешающей способности влияет на оценку сопоставимости слоёв по глубине при горизонтальном сглаживании. Если сглаживание происходит не так, как хотелось бы – попробуйте поэкспериментировать с этим значением. При инверсии в рамках *непрерывной модели* он, к тому же, задаёт ограничение на минимально допустимую мощность слоя в зависимости от глубины залегания и общего числа слоёв.

Ограничения на модельные значения очевидны и проверены на множестве полевых данных ВЭЗ и MASW, изменять их значения по умолчанию стоит только в каких-то особых случаях.

Кнопкой **[Файл…]** можно загрузить список файлов для инверсии, после чего программа перейдёт в режим пакетной обработки (см. главу 10 Пакетная обработка данных). Предварительно можно создать список всех файлов данных поддерживаемых форматов в текущей папке (invers.set), щёлкнув по флажку «Создать список файлов в текущей папке». При успешном создании списка будет показано соответствующее сообщение.

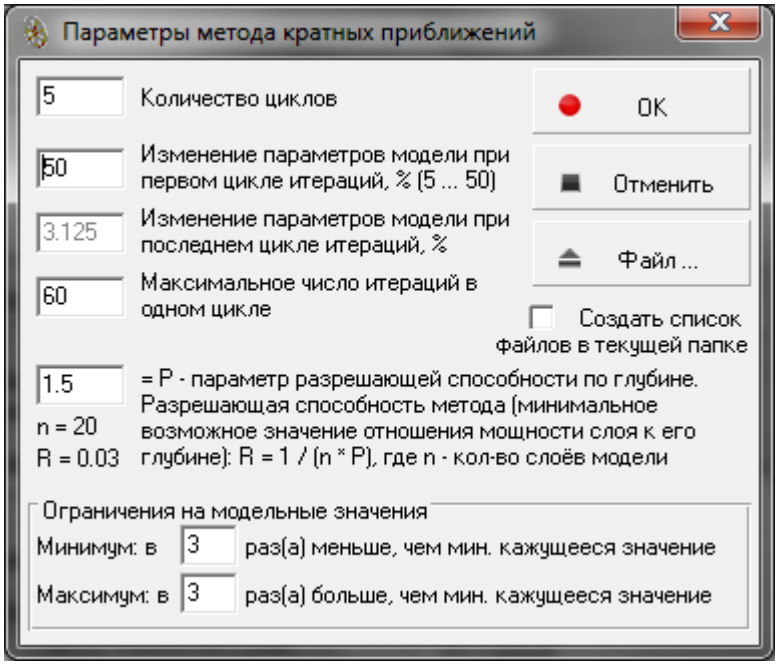

Рисунок 15 Дополнительные параметры алгоритма инверсии

9. Подготовка полевых данных для инверсии

Данные MASW специальной подготовки, как правило, не требуют. Для «правильного» расчёта теоретических дисперсионных кривых желательно задать в каждой точке наблюдения положение уровня грунтовых вод (УГВ), поскольку оценка значений Vp и плотности пород в ходе вычислений для зоны аэрации и зоны полного водонасыщения производится по различным линейным зависимостям (рисунок 16). По умолчанию все коэффициенты пересчёта соответствуют таковым для программного комплекса SeisImager. *Глубина до воды* задаётся тем же способом, что и *мощность первого слоя* (см. Рисунок 9 и комментарии к нему). При настройке опций инверсии необходимо самостоятельно снять флажок «Мощность первого слоя задана» (Рисунок 7), иначе при создании начальной модели мощность первого слоя будет соответствовать мощности зоны аэрации. При автоматической генерации начальной модели, дополнительная граница,

соответствующая УГВ, в разрез не вводится. Первым от поверхности полностью водонасыщенным слоем считается слой, в который попадает отметка УГВ.

Опыт показывает, что разница в финальных разрезах, рассчитанных с учётом и без учёта УГВ, как правило, незначительна.

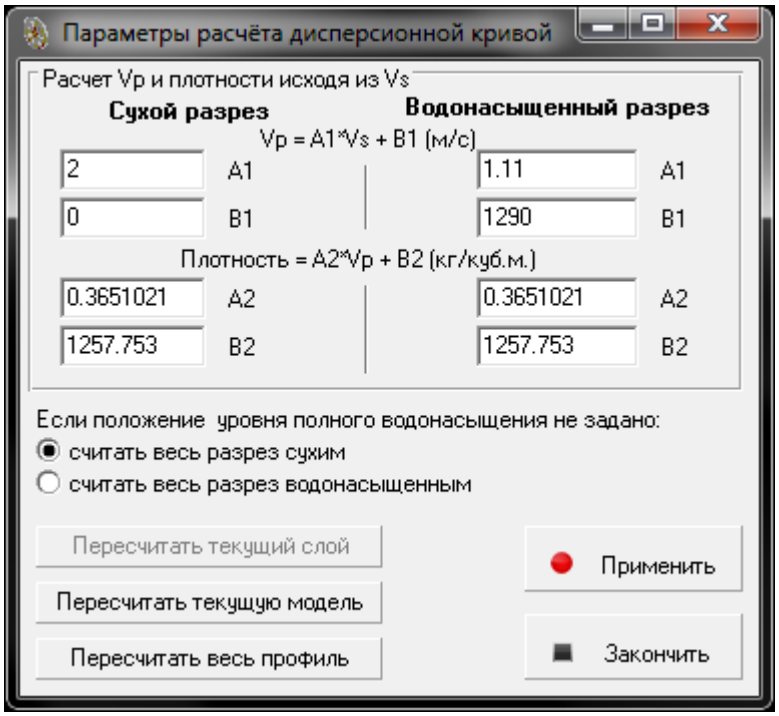

Рисунок 16 Опции определения Vp и плотности при расчёте дисперсионных кривых

Данные ВЭЗ, в первую очередь, как правило, требуют нормализации: для получения хороших результатов автоматической инверсии общий уровень значений кажущегося сопротивления вдоль профиля должен изменяться плавно.

Опции автоматической нормализации в программе нет. Для приведения кривых зондирования к общему уровню в «ручном» режиме, в окне графики нужно выполнить следующие действия (Рисунок 17):

1. Соответствующей кнопкой включить режим отображения соседних кривых зондирования. При этом предыдущая на профиле кривая рисуется синим цветом, следующая – красным. Чтобы не мешали модель и теоретическая кривая, их можно отключить кнопкой, расположенной справа от отмеченной на рисунке.
2. Через контекстное меню включить режим нормализации.
3. В левом нижнем углу окна появится движок, перемещая который можно смещать всю кривую зондирования вправо или влево по оси кажущихся значений.

Необходимость сведения ворот можно рассматривать отдельно для каждого пункта электрозондирования. Опции *Не сводить, К первой MN, К последней MN* доступны через контекстное меню окна графики. Нужно иметь в виду, что поскольку программа оперирует кривыми реальных установок электрозондирования, смещение сегментов кривых и их непараллельное перекрытие могут быть полностью или частично обусловлены горизонтально-слоистым разрезом. При этом аналогичный эффект будет наблюдаться и на расчётных кривых. Поэтому перед принятием решения о *сведении ворот* желательно вручную промоделировать возможные варианты геоэлектрического разреза.

Опции *нормализации* и *сведения ворот* (а также *учёта влияния подземных коммуникаций*) не затрагивают собственно полевые данные. Сведения о выполняемых операциях сохраняются в параметрах моделей (в файлах *.es или *.res). **При сохранении копии данных (команда *Файл/Полевые данные/Сохранить копию…*) в формате *.es все сведения переносятся без изменений: и исходные данные, и корректирующие операции. При сохранении копии данных в формате *.dtg применяются все корректирующие операции и в файл записываются изменённые полевые данные.** При работе с симметричной установкой Шлюмберже (только она поддерживается в формате *.dtg), бывает удобно выполнить все необходимые корректировки и сохранить копию изменённых полевых данных в этом формате для дальнейшей количественной интерпретации.

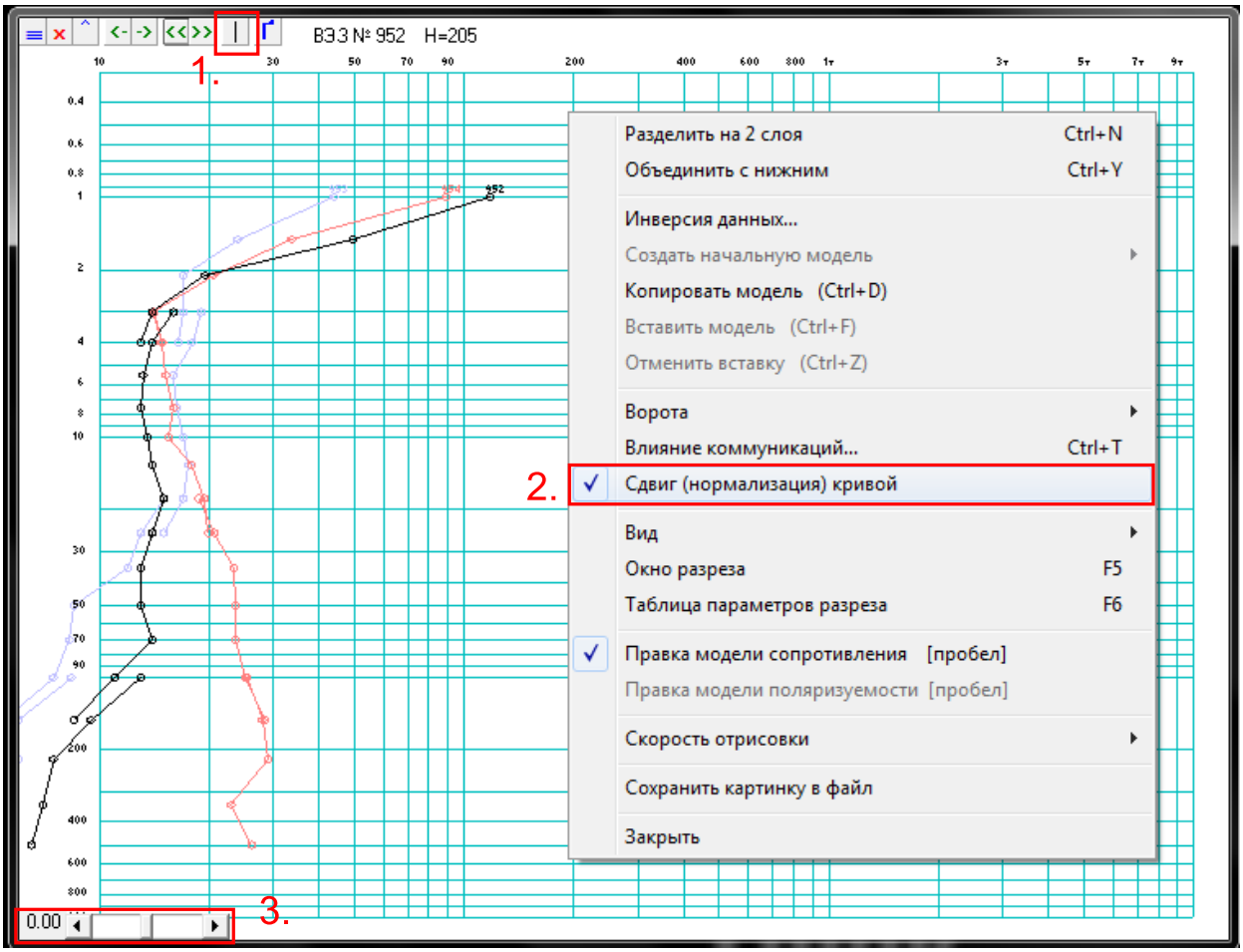

Рисунок 17 Включение режима ручной нормализации кривых зондирования

10. Пакетная обработка данных

В программе имеется возможность пакетной обработки файлов данных любых поддерживаемых форматов. Для этого должен быть создан текстовый файл с расширением *.set, содержащий блок:

```
[Files]
1=prof01.es
2=prof02.es
3=prof03.es
4=…
…
```

Здесь после 1=, 2= и т.д. записываются имена файлов данных, находящихся в одной папке с файлом *.set. Файл может быть создан вручную в Блокноте или через интерфейс программы: меню *Инверсия/Создать список файлов данных* основного окна или флажок «Создать список файлов в текущей папке» окна Параметры метода кратных приближений (Рисунок 15).

Загрузка списка файлов и включение режима пакетной обработки производится двумя разными способами. Первый – щёлкнуть по файлу *.set в Проводнике и в качестве исполняемого модуля указать VES Master (vmaster32.exe). После этого, без появления дополнительных окон, загрузится окно Параметры метода кратных приближений, а по нажатии кнопки **[ОК]** – окно параметров инверсии. Второй способ – в окне Параметры метода кратных приближений нажать кнопку **[Файл…]** и выбрать нужный файл *.set.

Обработка всех файлов данных будет выполнена с одинаковыми параметрами инверсии и в том порядке, в котором они следуют в файле *.set.

Временно приостановить инверсию можно нажав клавишу P на клавиатуре компьютера (это бывает необходимо, когда сильно загружается процессор, как в случае обработки данных MASW), принудительная остановка инверсии – клавиша Esc.

Все параметры инверсии, а также время начала и окончания работы записываются в заголовок лог-файла (invers*.log), который автоматически создаётся в текущей папке. Имя лог-файла включает дату и время запуска инверсии.

11. Постобработка результатов инверсии

После выполнения *стохастической инверсии* или *инверсии методом Монте-Карло* (или даже *прямой инверсии* с добавлением шума в начальную модель) на выходе, как правило, образуется несколько равновероятных разрезов. Для их обработки и анализа предназначен фильтр **[**Модели (*.res, *.es) -> Средняя модель (*.res, *.es)**]**, расположенный в окне ВЭЗ Мастер : Конвертеры. На вход фильтра можно подать от двух до восьми разрезов (рекомендуемое количество – 2, 4 или 8), результат – осреднённая модель по профилю. Для каждого слоя исходных моделей вычисляется относительное среднее отклонение (RMD) от осреднённой модели, а для каждого слоя созданной осреднённой модели – среднее арифметическое всех отклонений. При работе с данными в формате *.es результаты вычисления RMD записываются в ключи «Model Ro RMD» и «Model Eta RMD», при работе с данными в других форматах создаётся файл с расширением *.rmd и структурой res-файла. Просмотр разреза значений RMD включается командами *Отн. отклонение по Ro, %* и *Отн. отклонение по Eta, %* контекстного меню окна разреза.

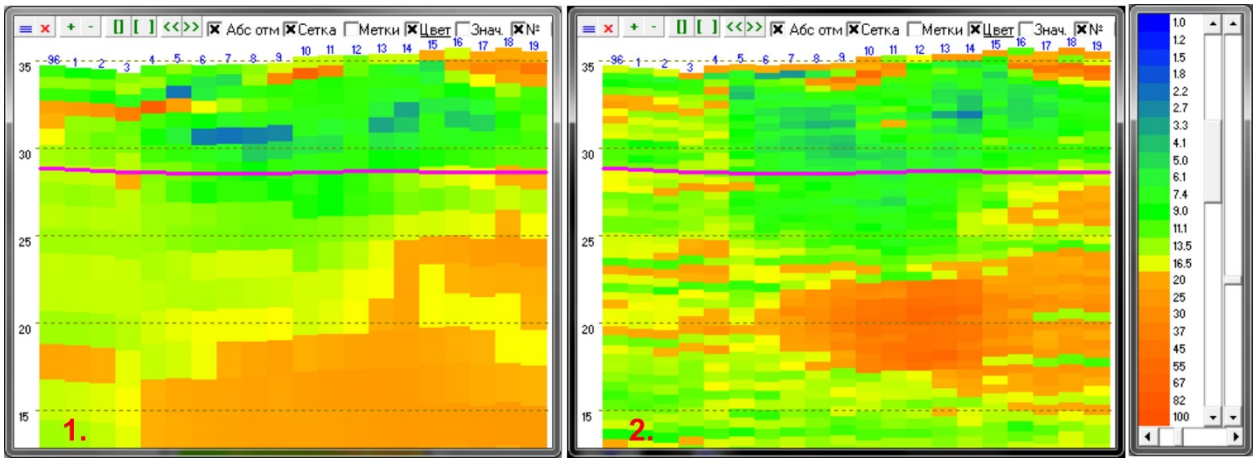

Рисунок 18 Результат прямой инверсии для 20-слойной модели (1) и 50-слойная модель по результатам осреднения 4-х разрезов, полученным методом Монте-Карло (2)

12. Рекомендуемое чтение

Loke M.H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. 2016

Галин Д.Л. Интерпретация данных инженерной геофизики, М, 1989

Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений. М, 1984

Оглавление

1. Исходные полевые данные для инверсии 1
Данные ВЭЗ 1
Данные MASW 1
2. Общие сведения об алгоритме автоматической инверсии 2
Прямая задача 2
Обратная задача 2
3. Инверсия данных по профилю 5
4. Создание начальной модели 6
5. Геометрия слоистой модели 7
6. Дискретная и непрерывная слоистые модели 11
7. Горизонтальное сглаживание разреза 12
8. Дополнительные параметры алгоритма инверсии 14
9. Подготовка полевых данных для инверсии 15
Данные MASW 15
Данные ВЭЗ 16
10. Пакетная обработка данных 17
11. Постобработка результатов инверсии 18
12. Рекомендуемое чтение 19