

МЕТОД РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ ВСП ПБ

И.С.Бехтерев, В.А.Кочнев, В.С.Поляков, И.В.Гоз

Введение

В статье рассматривается постановка навигационной задачи, обосновывается адаптивный метод ее решения по сейсмическим данным, зарегистрированным на поверхности в процессе бурения глубоких скважин (метод ВСП ПБ). Определение координат источника упругих колебаний — одна из задач, решаемых в рамках метода ВСП ПБ. Возможности адаптивного метода иллюстрируются примерами.

Важность и трудность задачи определения координат забоя скважины приведена в известной работе Г.А.Шехтмана [6]. По сути, в ней ставится задача уточнения параметров модели среды и координат источника, заданных по априорным данным для любого типа волн. Для решения предлагается использовать обобщенный метод наименьших квадратов [7]. Не обсуждая достоинства и недостатки метода, мы предпочитаем использовать адаптивный метод, обладающий многими положительными свойствами при решении сложных обратных задач [1, 2, 3].

Постановка задачи и обоснование модели

Предположим, что на поверхности расположена некоторая сеть приемников для регистрации упругих колебаний от источника, расположенного под поверхностью на некоторой глубине. Со временем источник меняет свои координаты. Обратная навигационная задача заключается в том, чтобы определить координаты X , Y , Z в моменты регистрации упругих колебаний. Основная информация о координатах источника содержится во временах прихода прямых волн от источника к приемникам. Очевидно, что время пробега от источника будет зависеть не только от координат источника и приемника, но и скорости в среде. В методах решения навигационной задачи нами используются различные модели сред. Но для удобства объяснения будем использовать эффективную локально-однородную модель среды, характеризующуюся двумя параметрами: t_0 — время пробега волны от источника по вертикали и $V_{эф}$ — эффективная скорость в слое от источника до линии приведения. От линии приведения до приемника вводится слой, в котором волна испытывает задержку (статическую поправку), зависящую от удаления источник-приемник и от соотношения эффективной скорости и скорости в верхнем слое. Таким образом, фактически вводится двухслойная среда.

Время пробега волны от источника i к приемнику j будет равно:

$$t_{ij} = \sqrt{t_{0i}^2 + \frac{S_{ij}^2}{V_{эфi}^2}} + \tau_j + \Delta\tau_{ij} \quad (1)$$

где t_0 — минимальное время пробега волны от источника до линии приведения, $V_{эф}$ — эффективная скорость, характеризующая кривизну гиперболы годографа. Она учитывает квазианизотропию слоистой модели среды. В общем случае

$V_{\text{эф}} > V_{\text{ср}}$, где $V_{\text{ср}} = (Z_j - Z_i)/t_{0_i}$ Только в частном случае, когда среда однородна, $V_{\text{эф}} = V_{\text{ср}}$

$$S_{ij}^2 = (X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 + (Z_j - Z_i)^2 \quad (2)$$

где X_i, X_j, Y_i, Y_j — координаты источника и приемника в плане,

Z_i — абсолютная координата источника,

Z_j — координата линии приведения,

τ_j — временная задержка волны (статическая поправка) на пункте приема,

$\Delta\tau_{ij}$ — кинематическая составляющая статической поправки, зависящая от угла подхода. Величина $\Delta\tau_{ij}$ может быть вычислена по следующей эмпирической формуле:

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{V_0}{V_{\text{эф}}} \frac{\tau_{\text{кинем}}}{t_{0_i}} \tau_j \quad (3)$$

где V_0 — скорость в слое, находящемся выше линии приведения, $\tau_{\text{кинем}}$ — кинематическая задержка в основном слое (между линией приведения и источником), зависящая от удаления и скорости.

$$\tau_{\text{кинем}} = \sqrt{t_{0_i}^2 + \frac{S_{ij}^2}{V_{\text{эф}_i}^2}} - t_{0_i} \quad (4)$$

В общем случае неизвестными являются не только координаты источника, но и параметры среды: $t_0, V_{\text{эф}}, \tau_j$, т.е. скоростной график $V_{\text{эф}}=f(t_0)$ и статические поправки за ПП. Переменная $\Delta\tau_{ij}$ не включается в число неизвестных, так как она составляет малую долю (от 0 до 0.2) от величины статической поправки и рассчитывается на каждом шаге уточнения по формуле (3). Величина V_0 считается априорно заданной константой и в процессе решения не уточняется.

Число уравнений при одной позиции источника равно числу каналов, из которых удалось выделить первое вступление и определить время прихода волны, а число неизвестных на 5 больше (3 координаты, $t_0, V_{\text{эф}}$). При двух и более наблюдениях, т.е. при двух и более позициях источника число уравнений будет больше, чем число неизвестных. Таким образом, система становится переизбыточной и формально задача имеет единственное решение, т.к. уравнения являются независимыми, если наблюдения проведены на существенно разных глубинах. При практическом решении обратной задачи выявляется сильная взаимозависимость неизвестных. Поэтому возникает необходимость ввода и правильного учета достоверности априорных данных. Такими возможностями обладает адаптивный подход к решению обратных задач, использующий статическую постановку задачи.

Постановка задачи в статистическом варианте

1. Предположим, что имеются начальные приближения всех неизвестных. Обозначим каждое неизвестное x_i . Кроме того, заданы погрешности начальных приближений. Обозначим их δ_i . Если какие-то из неизвестных имеют погрешность начального приближения, равную нулю, то в процессе решения эти значения не уточняются.

2. Предположим, что нам известна также оценка средней квадратичной погрешности наблюдаемых значений времен прихода волн. Обозначим их через σ_{tij} . Оценка погрешности может быть определена в зависимости от соотношения сигнал-помеха [1].

Задача заключается в том, чтобы с минимумом изменений модели обеспечить минимум расхождения между фактическими наблюдаемыми временами пробега и рассчитанными по модели. Именно подобная задача решается в адаптивном методе.

Обоснование метода решения

В соответствии с адаптивным подходом уточнение неизвестных ведется по каждому алгебраическому уравнению отдельно.

При начальных приближениях неизвестных рассчитаем время пробега волны от источника к приемнику. Будем называть его прогнозным $t_{ij}(x)$. Начальные координаты источника могут рассчитываться путем прогнозирования через длину бурового инструмента, опираясь на ранее полученные оценки. Прогнозные оценки скоростного графика и статики за ПП могут быть получены из априорных или уточненных данных.

Найдем разность между фактическим t_{ij} и прогнозным $t(x)_{ij}$ временами прихода прямой волны от i -того источника к j -тому приемнику.

$$\Delta t_{ij} = t_{ij} - t(x)_{ij} \quad (5)$$

Будем называть эту разность невязкой. Ненулевое значение невязки может быть обусловлено как погрешностью в наблюдаемом времени, так и погрешностью в прогнозном времени из-за неточности прогнозных параметров модели или из-за неадекватности математической модели реальной. Например, если предполагаем, что модель изотропная, а фактически она является анизотропной, то при решении задачи не удастся получить сходящийся алгоритм, обеспечивающий уменьшение невязок. Неадекватность удастся выявить в процессе тестирования алгоритма. И если такое имеет место, то модель меняется. Поэтому будем считать, что неадекватность модели не существенна и невязка обусловлена, в основном, неточностью фактического и прогнозного времени из-за неточности прогнозных параметров модели, т.е. значений неизвестных.

Представим невязку в виде

$$\Delta t_{ij} = \sum_{k=1}^N \frac{\partial t(x)_l}{\partial x_k} \Delta x_k + \xi_l \quad (6)$$

где l — номер уравнения, k — номера неизвестных, ξ_l — ошибка в наблюдаемом времени. Предполагаем, что она величина случайная, также неизвестная нам.

Производные в последнем уравнении являются известными величинами, рассчитываемыми при значениях x , полученных на предыдущем шаге. (На первом шаге берутся начальные приближения переменных).

Задача определения неизвестных x свелась к задаче оценки Δx по невязке Δt . В общем случае задача имеет множество решений. Для ее разрешения будем предполагать, что неизвестные Δx случайны, так же, как и ξ_l .

Следуя [2] и используя метод максимального правдоподобия, получим следующие формулы для оценки Δx :

$$\Delta x_k = \frac{\Delta t_{ij} a_{lk} \sigma_k^2}{\sigma_{t_{ij}}^2 + \sum a_{lk}^2 \sigma_k^2} \quad (7)$$

где $a_{lk} = \delta t(x)_l / \delta x_k$, $\sigma_{t_{ij}}^2$ — дисперсия погрешности времени t_{ij} .

Проанализируем формулу (7). Неизвестное не уточняется, если:

1. невязка Δt_{ij} равна 0
2. производная равна 0
3. $\sigma_k^2 = 0$

Невязка уточняется незначительно, если названные величины малы. Все неизвестные уточняются незначительно, если $\sigma_{t_{ij}}^2 \gg \sum a_{lk}^2 \sigma_k^2$.

Итак, получив на очередном шаге величины Δx , получим новое значение неизвестного, обеспечивающего взвешенный минимум невязки в данном уравнении.

$$x_k^{(m+1)} = x_k^m + \Delta x_k^{(m+1)} = x_k^m + \alpha_k^{(m+1)} \Delta t_{ij} \quad (8)$$

Если предположить, что $\sigma_{t_{ij}}^2 = 0$, а все $\sigma_k = 1$, то получим

$$x_k^{(m+1)} = x_k^m + \Delta t_{ij} \frac{a_k}{\sum_{k=1}^n a_k^2} \quad (9)$$

А это известный математикам метод Качмажа [4].

В адаптивном методе после изменения неизвестных изменяются и оценки средних квадратичных погрешностей. Для этого используется следующая формула [2]

$$\sigma_k^{2(m+1)} = \sigma_k^{2(m)} (1 - a_k \alpha_k^{(m+1)}) \quad (10)$$

Так как $0 < a_k \alpha_k^{(m+1)} < 1$, то $\sigma_k^{2(m+1)} \leq \sigma_k^{2(m)}$.

После уточнения неизвестных в первом уравнении, переходим на второе и т.д. до последнего. Процесс уточнения повторяется по всем уравнениям несколько раз, что определяется числом итераций.

В работе [2] показаны условия сходимости. Главное из них — равенство нулю математического ожидания погрешностей времен прихода волн в исходных годографах. Всякие систематические погрешности неизбежно приведут к смещению оценок координат источника или параметров среды.

При практическом решении задач адаптивный алгоритм позволяет гибко подбирать технологию решения всей задачи. В этом мы убедимся, рассматривая пример решения задачи на реальных данных.

Пример решения обратной задачи по реальным данным

Для иллюстрации возможностей решения обратной кинематической задачи использовались наблюдения сейсмических колебаний, полученные в процессе

бурения наклонной скважины в интервале забоя от 1600 до 2900 м. на одном из кустов Мало-Балыкского месторождения нефти. Наблюдения проводились на 5 профилях (лучах), расходящихся от скважины (рис. 1). Одно наблюдение включает регистрацию шумов от забоя в течение 64 с на трех профилях. Поочередно подключались две коммутации (расстановки). Первая расстановка включает 1,3,5, вторая 5,4,2 профиля. Специальными датчиками регистрировались колебания бурового инструмента.

Шаг между центрами групп 50 м. Минимальное удаление от устья скважины до приборов 100 м, максимальное 3600 м. Для регистрации использовалась 240-канальная станция INTROMARIN-L240. Шаг квантования 2 мс. Наблюдения проводились в соответствии с требованиями технологии, многие элементы которой защищены патентами [5].

Обработка полученных сейсмограмм для последующего решения навигационной задачи для получения временных и глубинных разрезов по отраженным волнам с целью уточнения геологического строения околоскважинного пространства проводилась с помощью специализированного для этих целей пакета программ.

Одна из основных трудностей, которая возникает на подготовительном этапе к навигации - получение правильно прослеженных годографов первых вступлений. Трудности возникают по следующим причинам.

- Из-за слабого соотношения сигнал-шум на некоторых сейсмограммах;
- Из-за сильных волн-помех с близкими кажущимися скоростями, интерферирующих с основными волнами;
- Из-за многофазности на некоторых сейсмограммах;
- Из-за сложной ВЧР

Увеличение соотношения сигнал-шум должно быть обеспечено полевыми наблюдениями, а также правильным выбором параметров деконволюции виброграмм. В рассматриваемом случае удалось получить достаточное количество сейсмограмм с высоким соотношением сигнал-шум. Пример одной из сейсмограмм виден на рис.2. На этой же сейсмограмме показан пример правильной корреляции первого вступления, хотя на 98-99 каналах возможен вариант на фазу ниже. Сильная подходящая волна с меньшей кажущейся скоростью от более мелкого источника “сбивает корреляцию” и “уводит” конец годографа на большие времена. Правильный вариант корреляции после 98 канала идет на фазу выше. Более убедительно этот вариант корреляции виден на сейсмограмме 78 (рис.2, внизу). На ней видим многофазный характер волнового поля в области первых вступлений. Это также иногда осложняет выбор правильного варианта корреляции.

Трудности возникают и тогда, когда линия наблюдения проходит по местности с изменяющимся рельефом и неоднородным строением верхней части разреза (ВЧР). Пример сложной сейсмограммы, зарегистрированной от глубинного источника на профиле 5, приведен на рис.3 вверху. По первым вступлениям возможны различные варианты корреляции.

Наряду с трудно коррелируемыми сейсмограммами получены такие сейсмограммы, на которых ошибиться в корреляции невозможно. Пример такой сейсмограммы по этому же сложному профилю 5, показан на рис.3

внизу. Опираясь на варианты корреляции подобных сейсмограмм, мы можем правильно проследить волны и на остальных сейсмограммах.

В результате корреляции получаем годографы. Вид исходных годографов профиля 5 иллюстрируется рис.4. Верхний график на рисунке изображает априорную статику за ПП, рассчитанную по мощности слоя от поверхности до линии приведения при постоянной скорости в слое 1000 м/с. Как видно, некоторые особенности годографов хорошо объясняются поведением рельефа, тогда как другие с рельефом не коррелируются. Это можно объяснить локальным изменением скоростей в верхнем слое. Дальнейшей обработкой удастся скорректировать статические поправки, которые мы видим на рис.4 (внизу) вместе с годографами, в которые введены кинематические поправки. Имея годографы, можем перейти к решению навигационной задачи.

Решение навигационной задачи

Программа решения навигационной задачи имеет некоторый набор параметров, регулирующих режим прогноза, максимальное удаление по поверхности источник-приемник, подключение априорного скоростного графика. В данной работе мы будем рассматривать влияние на результат только некоторых параметров. Другие будут зафиксированы. Так, в пределах всех экспериментов отключен априорный скоростной график. Приняты следующие априорные погрешности прогноза координат эффективной скорости: $\sigma X = \sigma Y = 30$ м, $\sigma Z = 40$ м, $\sigma V_{эф} = 100$ м/с.

Первоначально получим при указанных параметрах, при априорной статике и максимальном удалении источник-приемник по поверхности 3000 м. При трех итерациях получим среднее смещение прогнозного времени от фактического 0.4 мс, а среднее квадратическое отклонение 4.8 мс.

Траектория источника показана на рис. 5^а. Сопоставляя полученный вариант навигации с инклинометрией, видим, что она близка к ней, но идет на 30 метров южнее с дирекционным углом близким к 270. Тогда как дирекционный угол инклинометрии на данном участке равен 274. Наибольшее отклонение наблюдается по оси Y. (Заметим, что у геодезистов ось X идет на север, а ось Y -- на восток). Отклонение по оси Y колеблется в пределах от 25 до 90 м. Наименьшее отклонение на 143 — последней — точке, наибольшее на 82 — в центре. Среднее отклонение составило 57 м, а среднее квадратическое — 59 м. По оси Z отклонение от инклинометрии составило в среднем 29 м, а среднее квадратическое 30 м.

Введем в обработку процедуру сглаживания результатов и определения координаты Z с учетом кривизны траектории забоя. Полученный вариант навигации приведен на рис.4^б. Сопоставив сглаженный и несглаженный результат, получим следующие оценки разброса (средние квадратические отклонения) от среднего результата: по оси X и Y — 11 м, по оси Z 5.7 м.

Сопоставив осредненный вариант с инклинометрией, получим следующие результаты:

	Среднее смещение						Среднеквадратичное отклонение					
	Y	X	Z	t ₀	V _{эф}	V _{ср}	Y	X	Z	t ₀	V _{эф}	V _{ср}
Сглаженный	52	-29	-24	9.6	274	18.1	55	30	25	11	276	18.4

Несглаженный	57	-32	-29	8	267	15.4	59	36	30	8.2	271	18
--------------	----	-----	-----	---	-----	------	----	----	----	-----	-----	----

Сглаживание незначительно приблизило полученные оценки к инклинометрии. Можно понять причину несколько повышенной оценки Z . Мы имеем в обработке только глубокую часть ствола. Вся предыдущая часть от устья до первого наблюдения предполагается линейной.

Проверим зависимость результат от максимального удаления, для чего проведем серию экспериментов. Результаты сопоставления приведены в таблице.

Удаление	ΔY	ΔY	ΔZ	Δt_0	$\Delta V_{эф}$	$\Delta V_{ср}$	σY	σX	σZ	σt_0	$\sigma V_{эф}$	$\sigma V_{ср}$
2500	55	-33	-29	7.4	264	15.1	56	37	29	8	266	17
2000	48	-42	-27	6	246	16	49	45	28	7	248	19
1500	49	-36	-27	5	221	20	51	39	27	6	224	21
1250	49	-38	-27	3	183	24	50	39	27	4	185	25
1000	59	-45	-30	2	103	35	61	47	30	1.6	108	36
С коррекцией статистики												
3000	46	-32	-26	9	273	6.3	47	35	27	9	275	10
2500	44	-34	-26	8	271	6	46	37	26	9	273	10
2000	47.5	-39	-26	9	271	7.6	48	41	27	9	273	10
1500	53.5	-32	-28	9	276	9	54	35	29	9	279	11
Сглаженный вариант с коррекцией статистики												
2500	45	-30	-21	7	257	4.0	46	31	22	7	260	6

Анализируя приведенные таблицы, видим, что имеет место систематическое отклонение результатов при различных параметрах решения навигационной задачи. Такой же результат дает определение траектории по первой и второй расстановке (рис.5с,d).

То, что полученный результат не является систематической ошибкой, свидетельствуют существенные расхождения фактических годографов от теоретических, рассчитанных по координатам инклинометрии. На профиле 5 теоретический годограф дает меньшие времена, а на профиле 4 — большие. На профиле 2 теоретический годограф по координатам инклинометрии смещен на полфазы ниже, что составляет около 20 мс.

Таким образом, сейсмические наблюдения дают устойчивый результат, отличающийся от результата инклинометрии. Сравнение общей траектории скважины в плане, полученной по данным инклинометрии и с учетом сейсмических данных приведены на рис.5е,f.

Вид траектории сбоку в трехмерном виде приведен на рис.6. Нижняя плоскость соответствует кровле пласта БС12 (абсолютная отметка — 2620 м). На этой отметке расхождение данных инклинометрии и сейсмических данных составляет около 70 м.

Рассмотрим возможные причины. Причиной может быть как неучет некоторых факторов как в инклинометрии, так и в сейсморазведке. В данном случае можно предположить неучет следующих трех факторов:

1. Длиннопериодные аномалии ВЧР. Но большие длины годографов от 1500—3000 при учете и без учета скорректированной статики дают близкие варианты. Кроме того, независимое определение координат источника по двум расстановкам также дают близкие результаты.
2. Наличие противофаз на большой группе каналов. Такой вариант моделировался на группе в 10 каналов, но существенных отклонений не было замечено. Конечно, если противофазными окажутся все каналы луча, это приведет к существенному смещению результата.
3. Наличие ошибок в фактической расстановке за счет отклонений от геодезических пунктов, а также за счет ошибок в геодезии. В данном случае это маловероятно, тем более, что две почти независимые расстановки дают близкие результаты.

Причины погрешности в инклинометрии в первую очередь могут быть вызваны различием фактического склонения в локальной области от принятого при расчетах. Фактическое магнитное поле в локальной области сильно искажено магнитными аномалиями масс железа на буровой. Его можно определить в конкретной точке, но оно будет другим в другой точке. Ошибка в 1° приведет на удалении 800 м к погрешности в 12 м. При малых значениях горизонтальной составляющей, характерной для севера, возможны и большие ошибки. Также систематические ошибки в измерении угла наклона в 1° дает на 3 км интервале ошибку в определении горизонтальных координат в 54 м.

Настораживает высокая фактическая точность, которая указывается в результатах инклинометрии. Допустимая ошибка по углу 0.5° , фактическая 0.01° . Допустимая ошибка по азимуту 2.5° , а фактическая 0.05° . Ошибка X и Y на забой 2970 м — 12.73 м, фактическая — 0.57 м и 0.67 м по глубине

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Сейсмический метод может использоваться для определения координат забоя скважины. Точность определения зависит от следующих факторов.

- от качества сейсмограмм, т.е. от соотношения сигнал-шум. Каждая качественная сейсмограмма обеспечивает очередную точку определения координат по осям X, Y, Z с погрешностью ± 10 м. Погрешность по оси Z будет зависеть от полноты наблюдений. Если наблюдения будут вестись от момента искривления, то возможная погрешность также будет в пределах 10 м.
- от правильности выбора системы наблюдения. Это отдельный специальный вопрос, который может быть предметом специального исследования. По нашему опыту ясно одно — система наблюдений не должна ограничиваться областью ожидаемого минимума годографа. Система должна позволять проводить корреляцию волн, чтобы избежать перехода на другую волну. Возможно, принятая профилльно-лучевая схема является близкой к оптимальной.

- от поверхностных условий. В сложных поверхностных условиях для повышения точности необходимо независимое изучение параметров ВЧР.

Разработанная технология получения наблюдения и обработки позволяет решать задачу навигации, как задачу независимого контроля за правильностью проходки наклонных скважин, что особенно важно при эксплуатационном бурении.

Адаптивный метод, используемый для решения задачи, позволяет построить технологическую схему решения и контроля правильности решений навигационной задачи.

В процессе ее решения корректируются поправки за ПП, вызванные переменными скоростями в слое ВЧР. Для сейсморазведчиков точные координаты источника и скорректированные поправки за ПП необходимы для решения последующих задач изучения параметров околоскважинного пространства.

Литература

1. Кочнев В.А. 1988, “Адаптивные методы интерпретации сейсмических данных”— Н, Наука, Сиб.отделение — 152 с.
2. Кочнев В.А. 1993, “Адаптивные методы решения обратных задач геофизики (учебное пособие)”. Красноярский госуниверситет, Красноярск,— 120 с.
3. Кочнев В.А. 1997, “Адаптивный метод решения систем уравнений в обратных задачах геофизики”. Труды Сиб.конференции по прикладной и индустриальной математике, посв. пам. Л.В.Канторовича. с 129-137.
4. Наттерер Ф. 1990, Математические аспекты компьютерной томографии. М, Мир, 288 с.
5. Патент РСФСР 2101733 “Способ скважинной сейсморазведки”. Патентообладатель ЗАО ФОРУМ. Авт. Бехтерев И.С., Галузин М.Н., Михайлов В.А., Соболев Д.М., Бирдус С.А.
6. Шехтман Г.А. Определение параметров среды и траектории ствола скважины методом ВСП. Геофизика №5-6, 1996 г.
7. Lines L.R., Treitel R., 1984, A review of least squares inversion and its application to geophysical problems. Geophysical Prospecting, 32, 159-186.

Об авторах

Владимир Алексеевич Кочнев — в.н.с. Института вычислительного моделирования СО РАН, доктор технических наук. В 1958 г. закончил геофизический факультет Свердловского горного института им.В.В.Вахрушева. Участвовал в открытии 7 месторождений в Западной Сибири (Томская и Тюменская обл.) Область научной деятельности: разработка и исследование новых методов решения прямых и обратных задач геофизики, в первую очередь сейсморазведки. Автор 80 работ, в т.ч. 2х монографий.

Виталий Сергеевич Поляков — ст. программист научно-производственной фирмы ИНРО. В 1993 г. закончил физический факультет Красноярского государственного университета. Область интересов: разработка методов и пакетов программ для обработки и интерпретации сейсмических данных. Соавтор 10 научных работ.

Илья Владимирович Гоз — м.н.с. Института вычислительного моделирования СО РАН. В 1993 г. закончил физический факультет Красноярского государственного университета. Область научных интересов: методы решения прямых и обратных задач. Автор 2 и соавтор 8 работ.

Игорь Сергеевич Бехтерев — ген. директор научно-производственной компании “Форум” (г. Тюмень). В 1977 г. закончил геофизический факультет Тюменского индустриального института. Основное направление деятельности — разработка и внедрение в производство новых технологий сейсморазведки для изучения околоскважинного пространства с целью прогнозирования залежей нефти. Автор 8 научных работ.

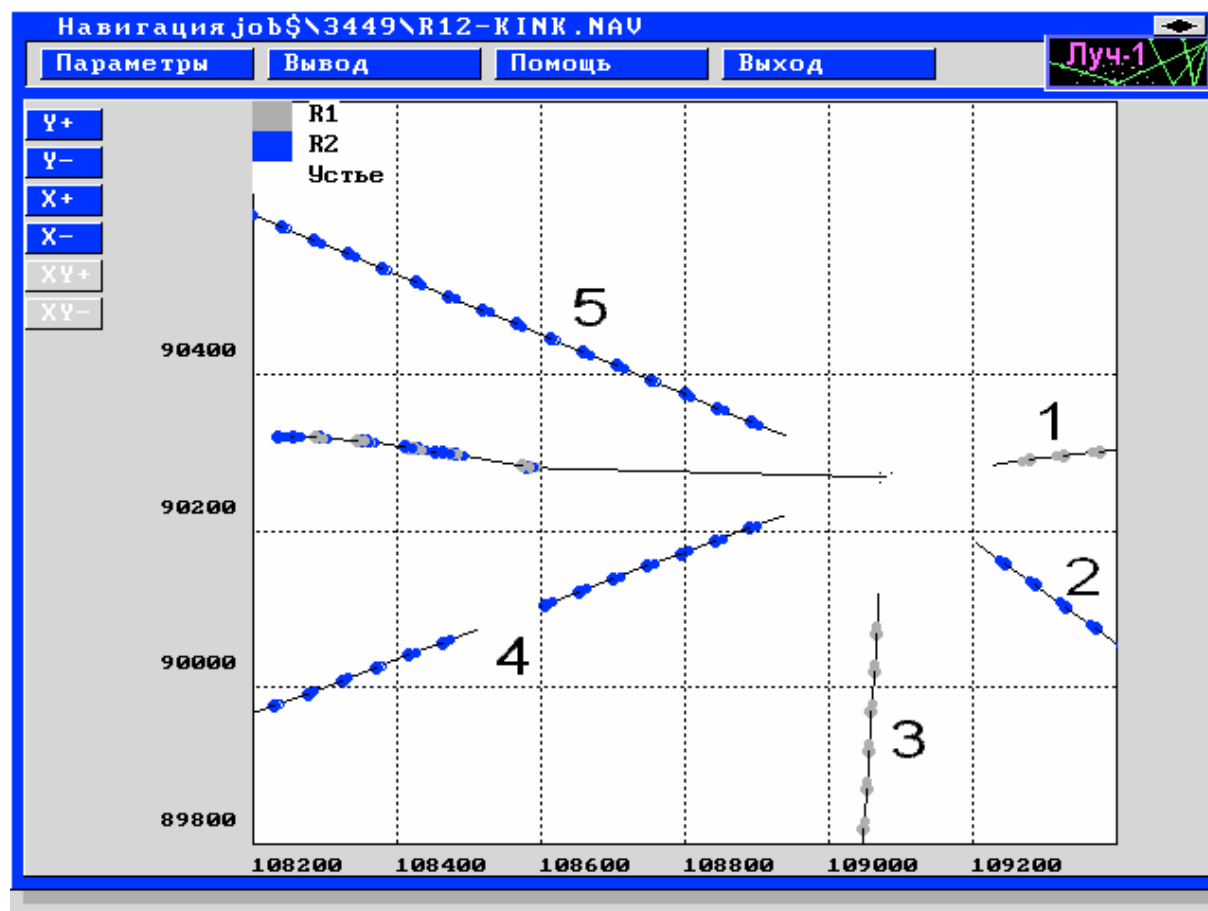


Рис. 1 Схема расположения профилей и траектория в период регистрации сейсмических колебаний

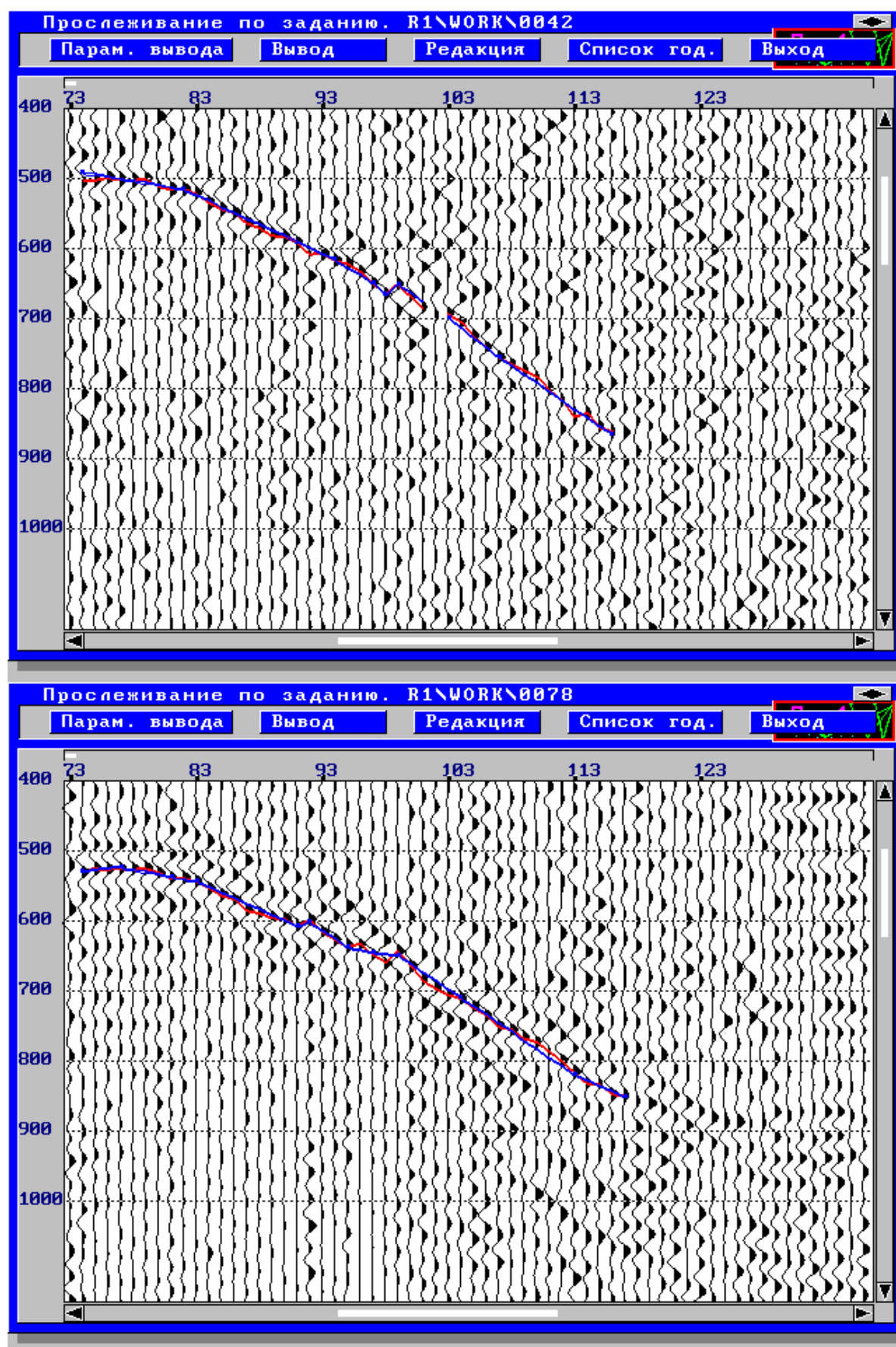


Рис. 2 Варианты корреляции, сейсмограмма 42 (VARCOR42.PCX), сейсмограмма 78

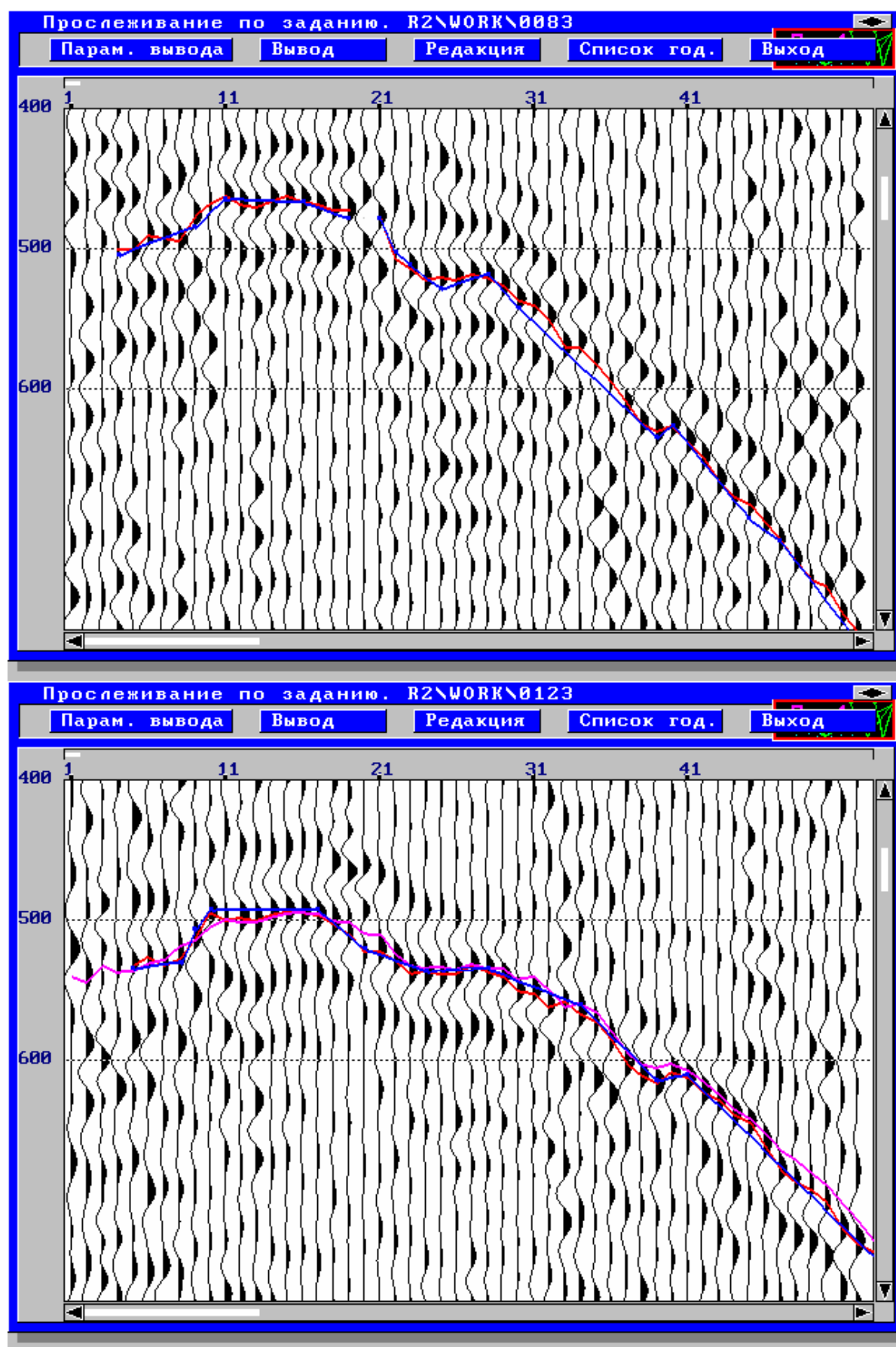


Рис. 3 Варианты корреляции сейсмограмма 83, сейсмограмма 123

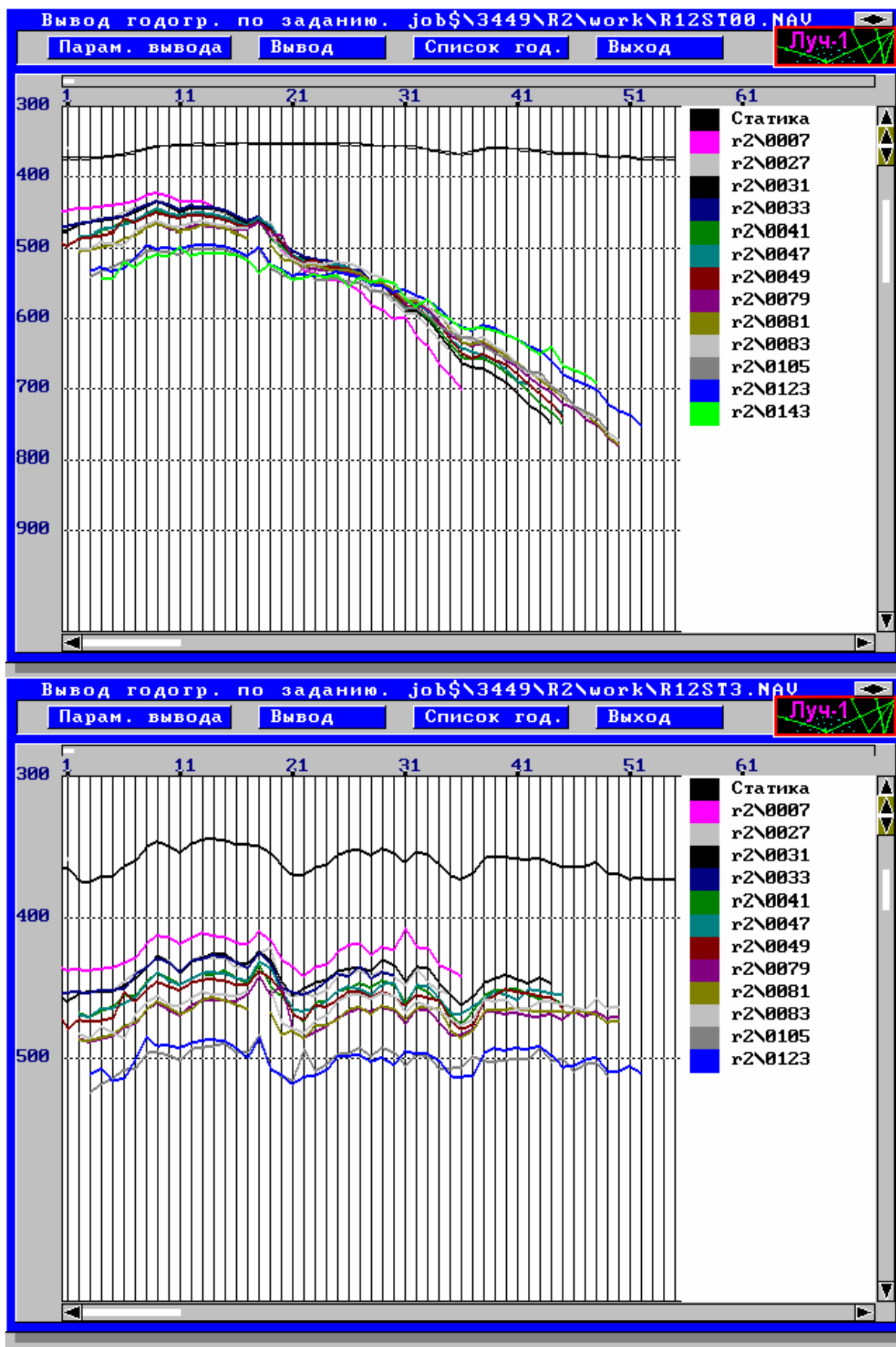


Рис. 4 Годографы по профилю 5, исходные (вверху), с введенной кинематикой, после коррекции статики (внизу)

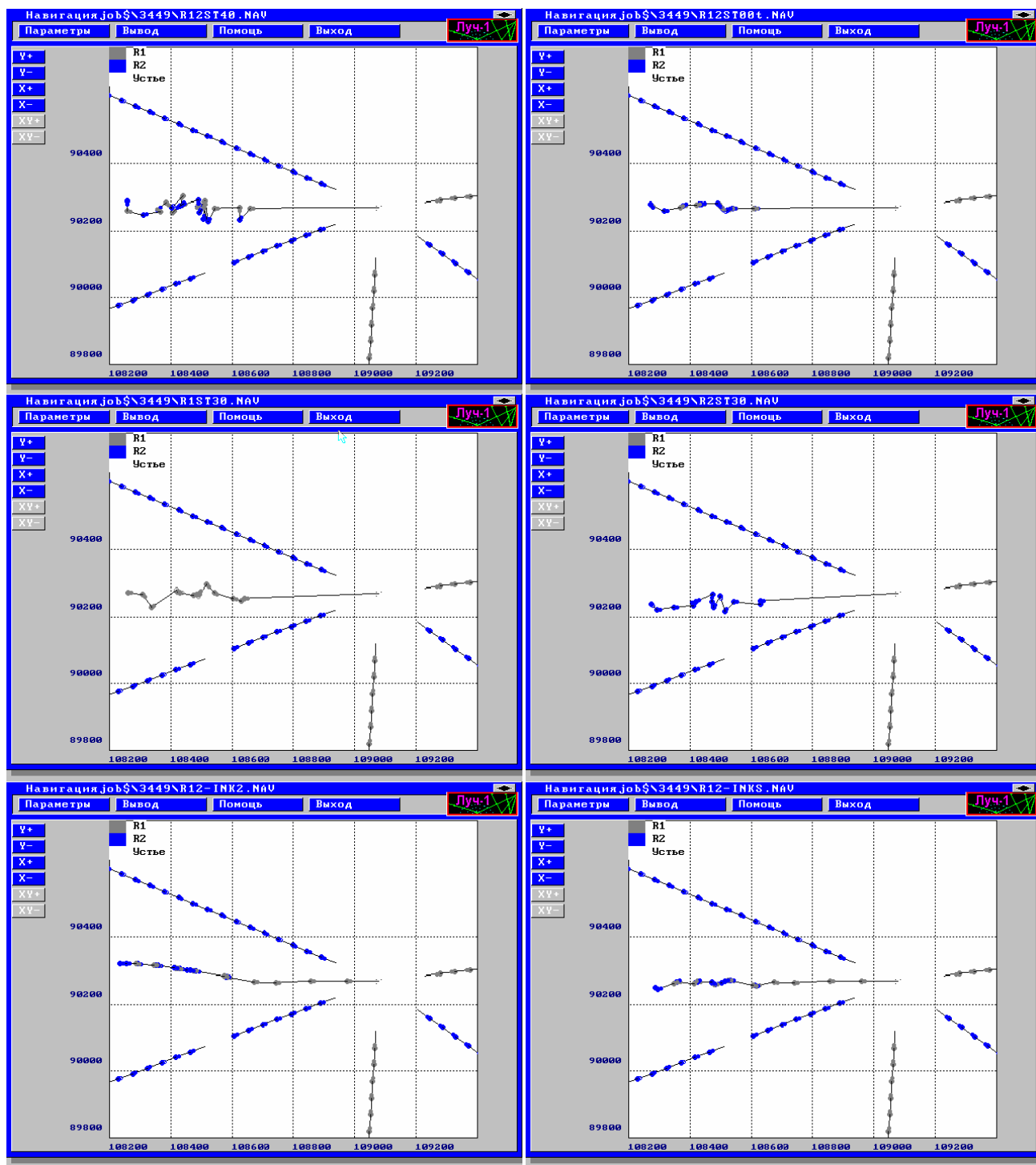


Рис. 5 Варианты траектории источника, слева направо и сверху вниз: а) расстановка 12 с априорной статикой, несглаженный вариант б) расстановка 12 с априорной статикой, сглаженный вариант в) расстановка 1 с априорной статикой, несглаженный вариант г) расстановка 2 с априорной статикой, несглаженный вариант е) полная траектория по данным инклинометрии ф) полная траектория, построенная с учетом сейсмических результатов

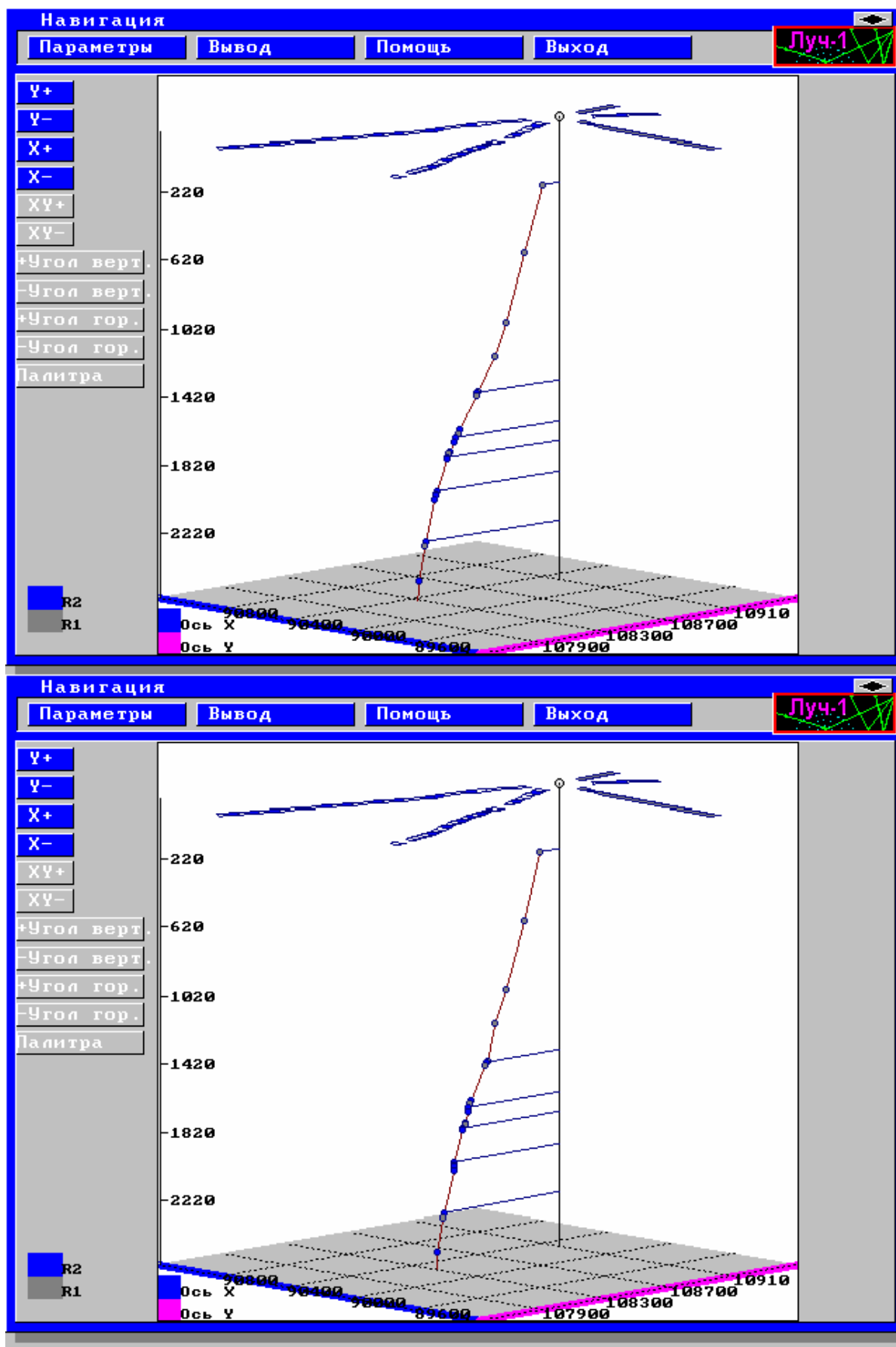


Рис. 6 Трехмерный вариант вывода траектории забоя: по данным инклинометрии (вверху), по сейсмическим данным (внизу)