

УДК 55(084.3):681.3

© М.Я. Финкельштейн, В.А. Спиридонов

М.Я. Финкельштейн, В.А. Спиридонов

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ В СРЕДЕ ГИС ИНТЕГРО

Геологический разрез – обязательный компонент комплекта Гостеолкарты 200/2 и 1000/3. При наличии обширной скважинной информации автоматизированное построение таких разрезов описано в работе [1]. Однако, при отсутствии такой изученности построение разреза практически не автоматизировано и выполняется геологом-экспертом либо традиционно на бумаге [2], либо в одном из картографических редакторов с использованием специализированной заготовки, включающей по линии разреза следующие элементы: рельеф дневной поверхности, отметки границ пересекаемых слоев, разломы, индексы подразделений. При постепенном переходе к объемным моделям роль геологического разреза будет постоянно увеличиваться, поэтому автоматизированная поддержка его построения сегодня является актуальной задачей.

Для создания заготовки геологического разреза по произвольной линии многие ГИС (ArcGis, MapInfo, ИНТЕГРО, ПАНОРАМА и др.) используют специальные приложения. В рамках ГИС ИНТЕГРО разрабатывается программный модуль, целью которого является реализация первого приближения непосредственно геологического разреза.

Хотя нереалистично говорить про полностью автоматический процесс, возможно в автоматизированном режиме обеспечить построение макета

разреза, с отрисовкой основных геологических подразделений карты в соответствии с базовыми правилами: мощность слоя предполагается постоянной; залегание слоев предполагается подобным; последовательность залегания слоев одинакова.

Будем полагать, что исходными данными для модуля, реализующего автоматизированную технологию, являются заготовка геологического разреза (рис. 1), с вынесенным на нее рельефом дневной поверхности, засечками пересекаемых линий разреза геологических объектов, и колонка, содержащая минимальные и максимальные мощности геологических разностей (рис. 2).

Заготовка разреза, в свою очередь, строится с помощью модуля, входящего в ГИС ИНТЕГРО, по линии заложения этого разреза, на базе векторизованной геологической карты и карты рельефа, представленной в виде равномерной сети (грида).

Будем считать, что геологические разности, выходящие на поверхность вдоль разреза, пронумерованы целыми числами, начиная от наиболее молодых, и что номера соседних разностей отличаются на единицу. Это означает, что вдоль разреза геологические подразделения залегают согласно, без размыва и т.п. Таким образом, мы предполагаем, что вся линия, по которой строится разрез, разделена на отрезки, индексированные целыми числами,

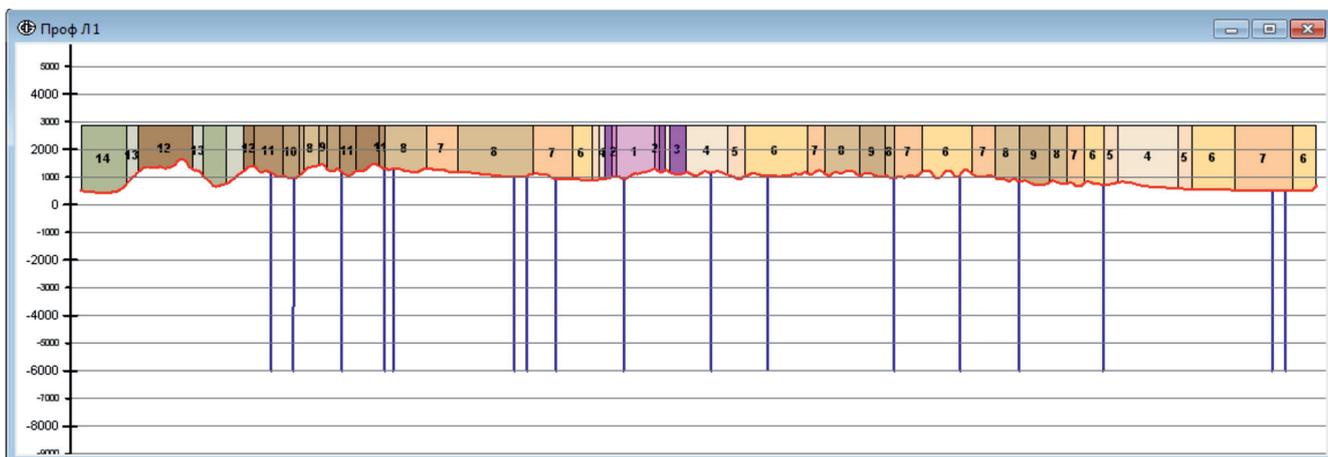


Рис. 1. Заготовка геологического разреза

#	ID	NM	NM_ALL	DH_MIN	DH_MAX
3	3	T ₁ i	Индский ярус	300.0	300.0
4	4	P ₂ dl ₂	Дулгалахская свита. Верхняя подсвита	350.0	500.0
5	5	P ₂ dl ₁	Дулгалахская свита. Нижняя подсвита	300.0	500.0
6	6	P ₂ sn ₃	Сюренская свита. Верхняя подсвита	1000.0	1000.0
7	7	P ₂ sn ₁₋₂	Сюренская свита. Нижняя и средняя подсвита	600.0	600.0
8	8	P ₁ hl ₃	Халджинская свита. Верхняя подсвита	900.0	900.0
9	9	P ₁ hl ₁₋₂	Халджинская свита. Нижняя и средняя подсвита	300.0	500.0
10	10	P ₁ ec ₂	Эчийская свита. Верхняя подсвита	300.0	300.0
11	11	P ₁ ec ₁	Эчийская свита. Нижняя подсвита	400.0	500.0
12	12	P ₁ mg	Меганская свита	400.0	600.0
13	13	C ₁ hl	Халданская свита	500.0	600.0

Рис. 2. Таблица, содержащая усредненные мощности геологических разностей

граничные точки этих отрезков имеют координату X по латерали и координату Y по высоте.

Построение начинается с экстремальных отрезков, не лежащих на краях разреза. Будем рассматривать два случая чередования: $i+2, i+1, i, i+1, i+2$ и $i+2, i+1, i, i+1, i, i+1, \dots, i, i+1, i+2$. Более сложные случаи в данной постановке рассматриваться не будут.

Рассмотрим первый случай. Пусть m_{i+1} – мощность $i+1$ слоя, а длины соответствующих отрезков (видимые мощности), соответственно, $l_{i+2}, l_{i+1}, l_i, l_{i+1}, l_{i+2}$. Тогда углы падения γ_{i+1} и γ^1_{i+1} определяются из соотношений $\sin(\gamma_{i+1}) = m_{i+1}/l_{i+1}$ и $\sin(\gamma^1_{i+1}) = m_{i+1}/l^1_{i+1}$. Считая, что угол падения i -й свиты слева также равен γ_{i+1} , а справа γ^1_{i+1} , будем приближать ее на разрезе полиномом третьего порядка $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$. Коэффициенты этого полинома определяются из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} y_l &= ax_l^3 + bx_l^2 + cx_l + d, \\ y_n &= ax_n^3 + bx_n^2 + cx_n + d, \\ \text{tg}(\gamma_{i+1}) &= 3ax_n^2 + 2bx_n + c, \\ \text{tg}(\gamma^1_{i+1}) &= 3ax_l^2 + 2bx_l + c, \end{aligned} \tag{1}$$

где нижние индексы n и l обозначают координаты правого и левого конца отрезка соответственно.

Для следующего слоя ($i+1$) кривая подошвы конструируется из трех частей. Левая часть – от левого конца левого отрезка, проиндексированного этой цифрой, до конца перпендикуляра длины m_{i+1} к линии, падающей под углом γ_{i+1} , выставленного из правого конца левого отрезка. Правая часть – от конца перпендикуляра длины m_{i+1} к линии, падающей под углом γ^1_{i+1} , выставленного из левого конца правого отрезка, проиндексированного этой цифрой, до правого конца правого отрезка. Все остальное –

центральная часть. Поскольку для левой части отрезка мы знаем угол (γ_{i+1}) и координаты левого и правого конца, то, решая систему аналогичную системе (1), мы сможем приблизить кривую кубической параболой. Аналогично обстоит дело и с правой частью отрезка (только угол там γ^1_{i+1}). В центральной части кривая строится как буфер от i -й кривой размера m_{i+1} . Легко увидеть, что в результате получится непрерывная кривая с непрерывной производной.

Перейдем теперь ко второму случаю. Первоначально предположим, что выходов i -й породы на поверхность только два – левый и правый. Аналогично вышеизложенному можно определить левый угол падения γ_{i+1} для левого выхода и правый угол падения γ^1_{i+1} для правого выхода. В этом случае мы можем приблизить подошву левого выхода i -й породы участком квадратной параболой $y = ax^2 + bx + c$, определяя коэффициенты из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} y_l &= ax_l^2 + bx_l + c, \\ y_n &= ax_n^2 + bx_n + c, \\ \text{tg}(\gamma_{i+1}) &= 2ax_l + b, \end{aligned} \tag{2}$$

где обозначения совпадают с введенными в системе (1).

Аналогично (с изменением право – лево) строится квадратная парабола для правого выхода.

Предположим теперь, что выходов i -й породы на поверхность больше, чем два. Поскольку мы уже построили кривые, описывающие подошву крайних выходов, можно считать, что нам известен угол падения γ для правого края левого выхода. Построим теперь кубическую функцию $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$, проходящую через правый край левого выхода (x_n, y_n) с углом падения γ , а также через точки (x_l, y_l),

(x_{n1}, y_{n1}) , определяемые соответственно левым и правым концами следующего по порядку выхода. Коэффициенты уравнения в этом случае могут быть определены из следующей системы:

$$\begin{aligned} y_n &= ax_n^3 + bx_n^2 + cx_n + d, \\ y_{n1} &= ax_{n1}^3 + bx_{n1}^2 + cx_{n1} + d, \\ y_{n1} &= ax_{n1}^3 + bx_{n1}^2 + cx_{n1} + d, \\ \operatorname{tg}(\gamma) &= 3ax_n^2 + 2bx_n + c. \end{aligned} \quad (3)$$

Заметим, что верхний отрезок функции от x_n до x_{n1} является фиктивным и в дальнейших построениях участвовать не будет. Продолжая вышеописанную процедуру можно построить отрезки кривых, описывающих подошву всех выходов i -й породы. Понятно, что чем больше раз мы эту процедуру производим, тем более условной получается кривая. Поэтому следует по возможности чередовать процедуру построения – один отрезок слева, следующий справа.

Итак будем считать, что все отрезки i -й кривой построены. Теперь кривую, описывающую подошву $i+1$ породы, мы можем разбить, как и в первом случае, на три части. Левая часть – от левого конца левого отрезка, проиндексированного этой цифрой, до конца перпендикуляра длины m_{i+1} к линии, падающей под углом γ_{i+1} , выставленного из правого конца левого отрезка. Правая часть – от конца перпендикуляра длины m_{i+1} к линии, падающей под углом γ_{i+1}^1 , выставленного из левого конца правого отрезка, проиндексированного этой цифрой, до правого конца правого отрезка $i+1$ породы. Все остальное – центральная часть. Концевые части кривой строятся буквально так же, как и в первом случае, а центральная часть кривой строится как буфер размера m_{i+1} от фигуры, состоящей из всех частей i -й кривой.

Если на нашем разрезе имеется только один экстремум, то при дальнейшем построении слоев по аналогичным правилам мы получим, в конце концов, заполнение всего разреза. Если же экстремумов несколько, то в какой-то момент мы столкнемся со следующим чередованием: $k+1, k, \dots, k, k+1, k, \dots, k, k+1$. Мы можем считать, что все отрезки линии, описывающих подошву k -й породы, уже построены. Тогда линия, описывающая подошву $(k+1)$ -й породы, строится аналогично второму из рассмотренных нами случаев, то есть мы разбиваем ее на три части. Левая часть – от левого конца левого отрезка, проиндексированного этой цифрой, до конца перпендикуляра длины m_{k+1} к линии, падающей под углом γ_{k+1} , выставленного из правого конца левого отрезка. Правая часть – от конца перпендикуляра длины m_{k+1} к линии, падающей под углом γ_{k+1}^1 , выставленного из левого конца правого отрезка, проиндексированного этой цифрой, до правого конца правого отрезка.

Все остальное – центральная часть. Концевые части кривой строятся в виде кубической функции, коэффициенты которой рассчитываются буквально так же, как и ранее, согласно системе уравнений (1), а центральная часть кривой строится как буфер размера m_{k+1} от фигуры, состоящей из всех частей k -й кривой (заметим, что может быть любое количество отрезков кривой, описывающих подошву k -й породы). Продолжая построение описанным выше способом, мы получим полный разрез.

При возникновении ошибки выдается сообщение о том, на каком слое она произошла. Также выдается информация о том, что ширина выхода слоя на поверхность меньше его мощности, что противоречит одному из необходимых условий правильного построения. Утилита в любом случае постарается отрисовать профиль, однако рекомендуется проверить исходные данные и при необходимости исправить их.

Таким образом, нами построен разрез (см. рис. 3) в простейшем случае. Однако представленная методика и реализованная на ее основе процедура позволяют производить некоторые осложнения.

1. Утилита функционирует также, если на геологической карте наряду с расчлененными имеются нерасчлененные подразделения (например, подбиты и свита). В этом случае процедура отстроит подошву нерасчлененного подразделения на всем протяжении разреза, а подошвы расчлененных будут отстроены только там, где для этого имеется достаточно информации.

2. При построении разреза можно учитывать смещения по разломам, как вертикальным, так и наклонным (рис. 4). Для учета влияния тектоники необходимо до запуска процедуры построения разреза изменить рельеф, сдвинув соответствующие участки поверхности на константу, равную смещению, и в сторону, противоположную смещению, по линии разлома. Далее запускается вышеописанная процедура. По ее окончании производится серия сдвигов полученной картины, приводящих рельеф в первоначальное состояние. Если какие-то из построенных линий при этом оказываются заметно выше рельефа дневной поверхности, то это указывает на неверное задание смещений.

Разрез, построенный с помощью описанного модуля, не может считаться окончательным, а предполагает содержательное редактирование с помощью графического редактора, имеющегося в системе. Если по линии заложения разреза имеются размыты или какие-либо еще разрывы, не сводимые к описанным выше, то рекомендуется разделить всю линию на непрерывные участки, строить разрез на каждом участке отдельно, а затем составить полный разрез из полученных фрагментов. Понятно, что надвиги или

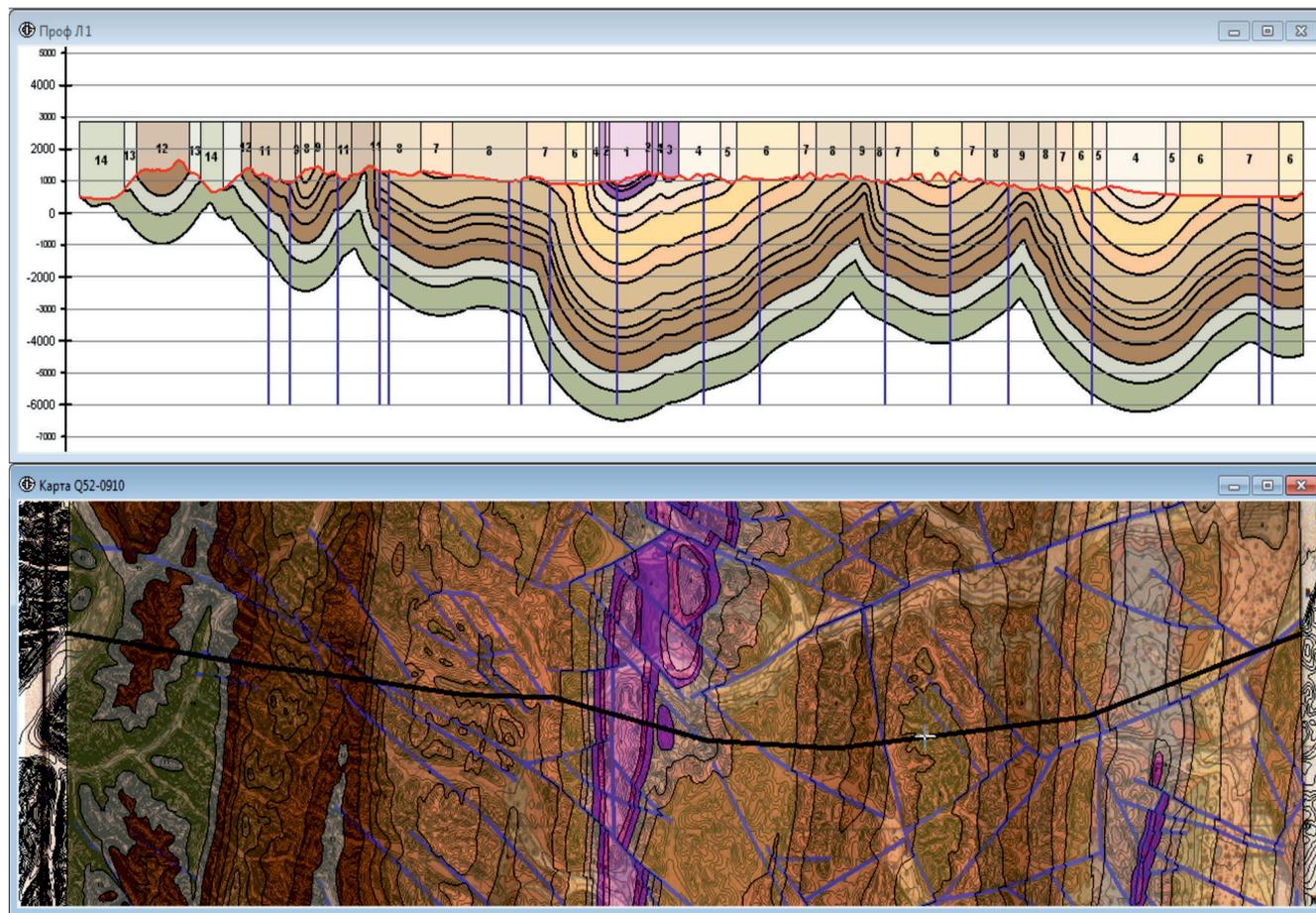


Рис. 3. Разрез (вверху) построенный по геологической карте (внизу)

области обратного залегания данной технологией не охватываются. Также абсолютно необходимо, чтобы используемый при построении рельеф соответствовал рельефу, на котором построена геологическая карта, а четвертичные образования были с карты корректно сняты.

В ближайшем будущем можно попытаться расширить границы допустимого, полагая, что мощность слоя не является константой, а задается некоторой функцией. Также можно использовать для построения разреза или для контроля корректности построения имеющиеся на карте элементы залегания.

При всех ограничениях, которые на сегодняшний день присутствуют в процедуре построения геологического разреза, нельзя не отметить возможности, которые предоставляет данная процедура. Во-первых, автоматизированное построение геологических разрезов, освобождая исследователя от большого количества рутинной работы, тем самым позволяет ему построить не один разрез, а целую серию, что может стать исходной информацией

для построения трехмерной модели геологической среды. Во-вторых, построение серии геологических разрезов позволяет обнаруживать несуразности геологической карты и несбивки, имеющиеся по границам листов. И, наконец, получившийся разрез дает независимую от геофизических методов оценку кровли фундамента, и увязка результатов геологического и геофизического моделирования может дать результат, к которому будет больше доверия.

Ключевые слова: геологический разрез, геологическая карта, колонка, геоинформационная система, осадочный чехол.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбакова Е., Московская О. Построение геологических разрезов в Geo.Series 2008 // САПР и графика. – 2008. – № 4. – С. 64-67.
2. Михайлов А.Е. Структурная геология и геологическое картирование : учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1984. – 464 с.

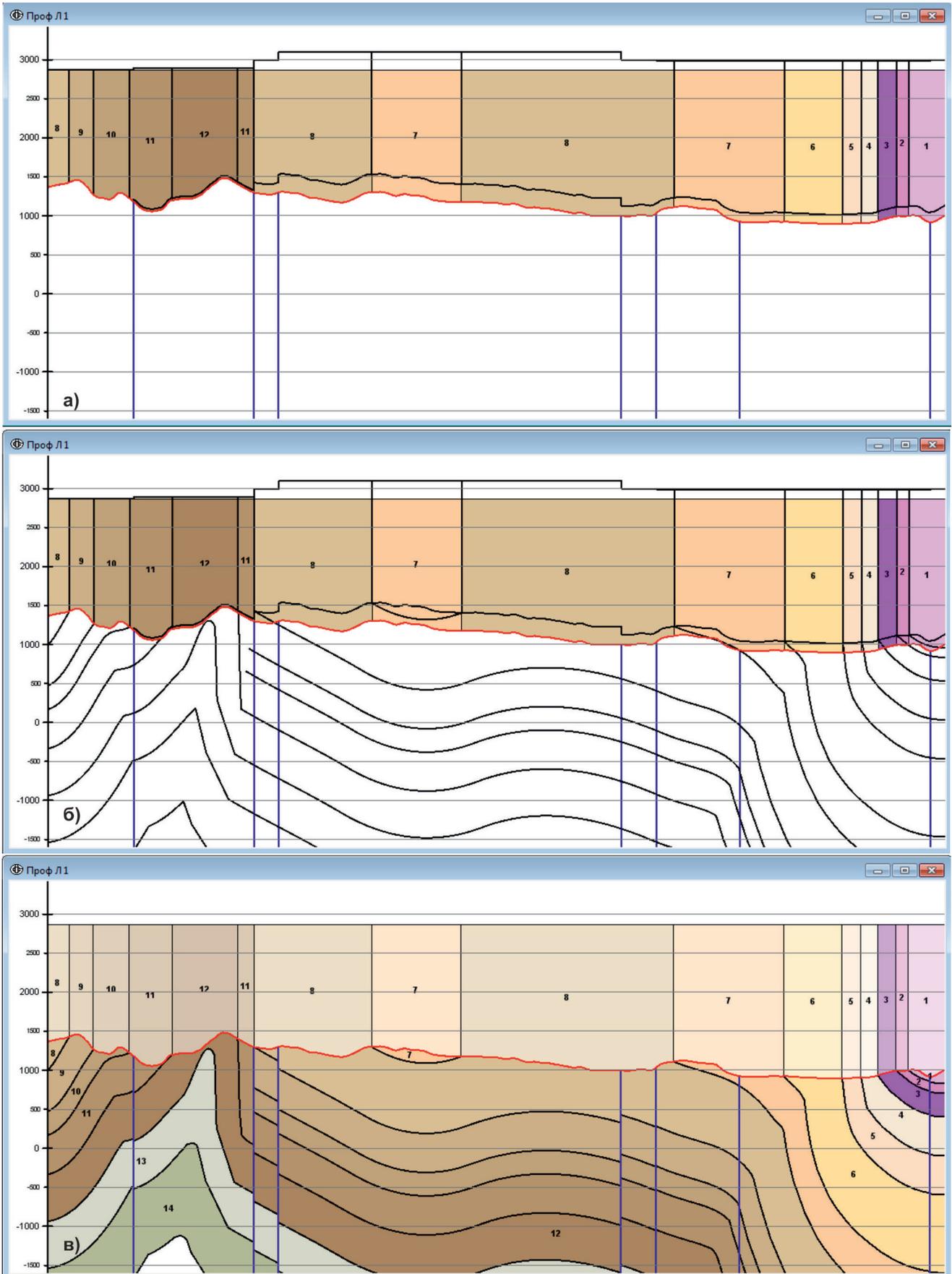


Рис. 4. Смещение разреза по разломам: а) смещение участков рельефа на константу, равную смещению по каждому разлому (с противоположным знаком); б) построение поверхностей от смещенного рельефа; в) приведение результатов построения к исходному рельефу