

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТРУКТУРЫ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

**В.А. Кочнев**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН,  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/44, Россия*

Рассматривается сейсмогравитационная (СГ) технология оценки статических поправок, используемых при обработке сейсмических данных и построении временных и глубинных разрезов. Эффективность ее применения иллюстрируется сравнением результатов обработки по традиционной (производственной) и новой СГ-технологиям по данным, полученным в пределах западного склона Непско-Ботуобинской антеклизы (НБА).

*Сейсмогравитационная технология, верхняя часть разреза, связь плотность—скорость, статические поправки, временные и глубинные разрезы*

### SEISMOGRAVIMETRIC METHODOLOGY: SPECIFICS AND APPLICABILITY TO THE SIBERIAN PLATFORM

**V.A. Kochnev**

The paper presents a new seismogravimetric method for estimating static corrections used in processing of seismic data and in construction of time and depth sections. The method efficiency is demonstrated by comparison of the results of industrial and new experimental processing of data for the western slope of the Nepa–Botuobiya anticline.

*Seismogravimetric method, upper section, density–velocity relation, static corrections, time and depth sections*

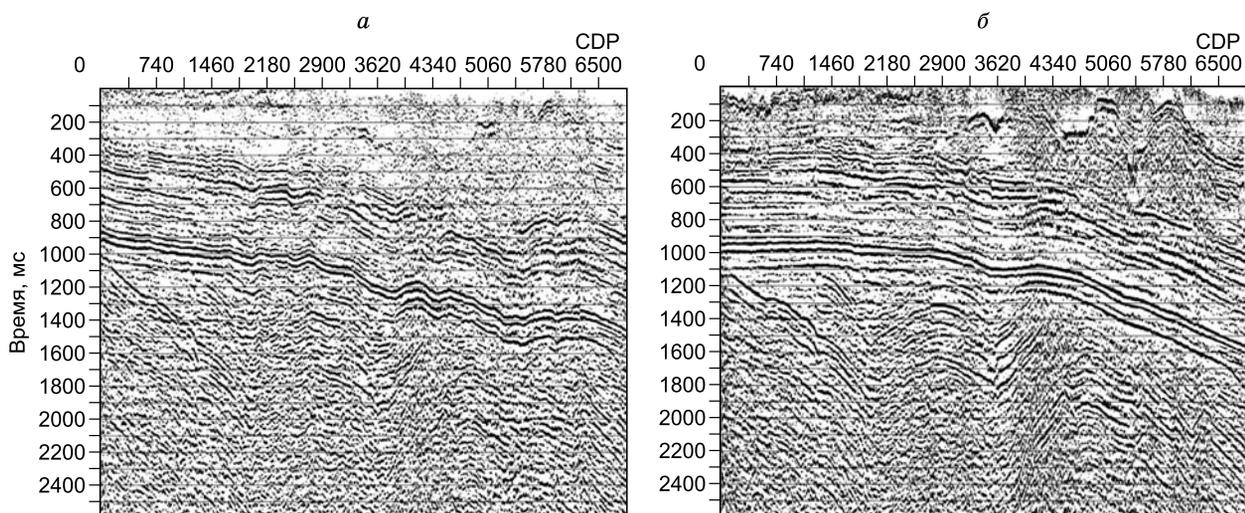
---

## ВВЕДЕНИЕ

На Сибирской платформе характерной особенностью палеозойских отложений является неоднородная толща верхней части разреза (ВЧР). Подготовленные сейсморазведкой по традиционной технологии учета ВЧР (поправки за рельеф, модель по первым вступлениям, автоматическая коррекция статики) структуры, как правило, бурением не подтверждаются. Это препятствует достижению основных задач сейсморазведки, связанных с поиском структур и других объектов, способных аккумулировать и сохранять залежи углеводородов.

Подошву ВЧР, приуроченную к основанию соленосной ангарской свиты, предлагалось выявлять по данным колонкового бурения, систематическое применение которого слишком удорожало бы полевые работы, но для создания сети опорных точек на площади изучения оно может быть необходимым. Использование детальных гравиметрических данных для расчета сейсмических поправок в условиях Восточной Сибири инициировано Б.И. Музыченко [Музыченко, Ефимов, 2006]. Гравиметрия для коррекции результатов сейсморазведки применяется и в других сейсмогеологических условиях [Setiyono et al., 2014; Vuchkov, Mityunina, 2015]. Практическая реализация рассматриваемой технологии основана на решении прямых и обратных 2D и 3D задач гравиметрии для многослойных сред адаптивным методом [Кочнев 1988, Кочнев, Хвостенко, 1996; Кочнев, Гоз, 2008], позволяющим устойчиво решать обратные задачи, учитывая достоверность априорных и наблюдаемых данных.

Первый результат был получен при экспериментальной обработке субмеридионального фрагмента регионального профиля Алтай—Северная Земля [Вальчак и др., 2011] с участием специалистов ЗАО «Красноярскгеофизика» [Кочнев и др., 2007; Кочнев, Гоз, 2008]. Здесь впервые для расчета сейсмических статических поправок была принята модель ВЧР мощностью 1200 м, распределение плотности и скорости в которой определялись решением обратной задачи по детальным гравиметрическим наблюдениям (шаг по профилю 100 м). Переход от плотностной модели к скоростной и расчет статических поправок реализован в пакете ADG-3D [Кочнев, Хвостенко, 1996; Кочнев и др., 2011]. Как выяснилось, поправки по СГ-технологии значительно отличаются от поправок, рассчитанных другими методами.



**Рис. 1. Временные разрезы по субмеридиональному фрагменту регионального профиля Алтай—Северная Земля длиной около 170 км, расположенному на южном склоне Курейской синеклизы (Сибирская платформа), полученные при статических поправках, рассчитанных стандартным способом — ОАО «Енисейгеофизика» (а) и по СГ-технологии (б).**

Обработка Ю.А. Кульчинского, ЗАО «Красноярскгеофизика».

Как следствие, отличаются и разрезы по степени прослеживаемости отражающих горизонтов и по их геометрии (см. рис. 1, а). При получении обоих разрезов применялись стандартные процедуры коррекции статики, кинематики и деконволюции. Если на временном разрезе по стандартной технологии (см. рис. 1, а) присутствуют несколько локальных поднятий, прослеживающихся по вертикали по всем отражающим горизонтам (возможно, обусловленных недоучетом статики), то с учетом результатов СГ-технологии на разрезе (см. рис. 1, б) выделяется один локальный антиклинальный перегиб на фоне плавного и более крутого (на величину 120 мс) погружения отражающих горизонтов в направлении Курейской синеклизы.

На рисунке 1, б по особенностям волновой картины более отчетливо, чем на рис. 1, а, можно выделить три сейсмокомплекса. Верхний характеризуется хаотичной нерегулярной записью в интервале времен 0—400 мс в южной части профиля и до 0—1000 мс в северной. Он соответствует неоднородной по строению толще ВЧР, сложенной осадочными и туфогенными образованиями нижнего—верхнего палеозоя и нижнего триаса, пронизанной пластовыми и секущими интрузиями долеритов сибирских траппов. Суммарная мощность комплекса существенно нарастает на север в направлении Курейской синеклизы.

Отражающий горизонт на временах 1100 мс (юг профиля) и 1800 мс (северная часть) разделяет нижний венд-среднекембрийский сейсмокомплекс от подстилающего его рифейского. Последний дислоцирован и несогласно перекрывается субгоризонтально залегающими вендскими терригенно-карбонатными отложениями. Статические поправки по СГ-технологии позволили получить более информативный временной разрез (см. рис. 1, б), особенно по рифейскому нефтегазоносному комплексу пород (НГК). Морфология опорных внутририфейских отражающих горизонтов показывает блоковое строение комплекса и позволяет оценить амплитуду довендских тектонических движений, что имеет определяющее значение при районировании территории профиля на зоны развития кавернотрещинного коллектора в карбонатах рифейского НГК и степени их перспективности на поиски залежей углеводородов.

Производственное применение технологии было реализовано при выполнении научно-исследовательских договорных работ с ОАО «Якутскгеофизика» в рамках темы: «Региональные геофизические работы на Наканновской площади в пределах Катангского района Иркутской области». Совместными исследованиями были получены разрезы по семи профилям общей протяженностью более тысячи километров [Кочнев и др., 2012, 2014, 2016], пересекающих Наканновскую площадь, где по результатам применения СГ-технологии на временном разрезе была подтверждена аномалия, соответствующая ранее выделенному Наканновскому выступу, по данным электроразведки. Кроме того, сделан вывод о большей информативности временных разрезов, полученных с поправками, рассчитанными по полному гравитационному полю.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СГ-ТЕХНОЛОГИИ

Детальное тестирование СГ-технологии в производственном режиме производилось на ВЦ ОАО «Енисейгеофизика» на четырех профилях Чулайской площади (Иркутская область) [Кочнев и др., 2016]. Возможности технологии проиллюстрируем результатами, полученными на профиле 2 (длиной около 40 км), расположенном на западном склоне Непско-Ботуобинской антеклизы в зоне ее сочленения с Катангской седловиной (рис. 2). Сейсмические наблюдения характеризуются кратностью 160 и высокоточными гравиметрическими наблюдениями с погрешностью 0.03 мГал и шагом 50 м по профилю. В СГ-технологии используются аномалии Буге с плотностью 2.67 г/см<sup>3</sup>. На площади были пробурены три скважины. Для исследуемого района есть данные бурения по скв. КУР-3.

На рисунке 3 представлены графики исходного гравитационного поля, модельного, полученного при решении обратной задачи, и близкая к нулю разность между ними. Принятая для расчетов кривая  $dg$  получена из аномалии Буге путем смещения ее на константу, определяемую средней величиной гравитационного поля по всей площади. Это позволило исключить из рассмотрения постоянную составляющую, достигающую десятков мГал и сохранить увязку на пересечении профилей. Как видно, гравитационное поле меняется в пределах от -10 до +5 мГал, уменьшаясь вдоль профиля. Различия между наблюдаемым и модельными полями близко к нулю.

Итак, на поверхности вдоль изучаемого профиля с шагом 50 м имеем смещенное на константу гравитационное поле, в среднем близкое к нулю. Нам точно не известно, где находятся источники аномалий гравитационного поля, но, учитывая свойства ВЧР (значительная мощность при латеральной неоднородности), подстилаемой пологозалегающей слоистой частью разреза, можно принять, что основные плотностные неоднородности присутствуют в ВЧР, подошву которой зададим на отметке 1200 м. Заметим, что изменение отметки подошвы практически не оказывает влияния на оценку искомых статических поправок, что обсуждается ниже.

В СГ-технологии имеется возможность решать задачу как в однослойной вертикально-блочной модели, удобной для анализа, так и в многослойном приближении, необходимом для соответствия реальным моделям ВЧР. Первое приближение осуществляется путем размещения вдоль профиля прямоугольных призм толщиной 50 м и высотой, равной мощности слоя ВЧР. Ширина призм в 3D варианте равна расстоянию между параллельными профилями, а в 2D варианте должна быть большой или стремиться к бесконечности. Будем предполагать, что каждый блок (призма) имеет свою плотность и является независимым источником гравитационного поля. В каждой точке наблюдения имеем интегральное поле от всех источников.

Таким образом, в однослойной двумерной модели получаем  $N$  интегральных уравнений с  $N$  неизвестными, когда задача имеет единственное решение при точных данных. При этом неизвестными являются не сами плотности, а их избыточные значения, т. е. отклонения от нормальной (фоновой) плотно-

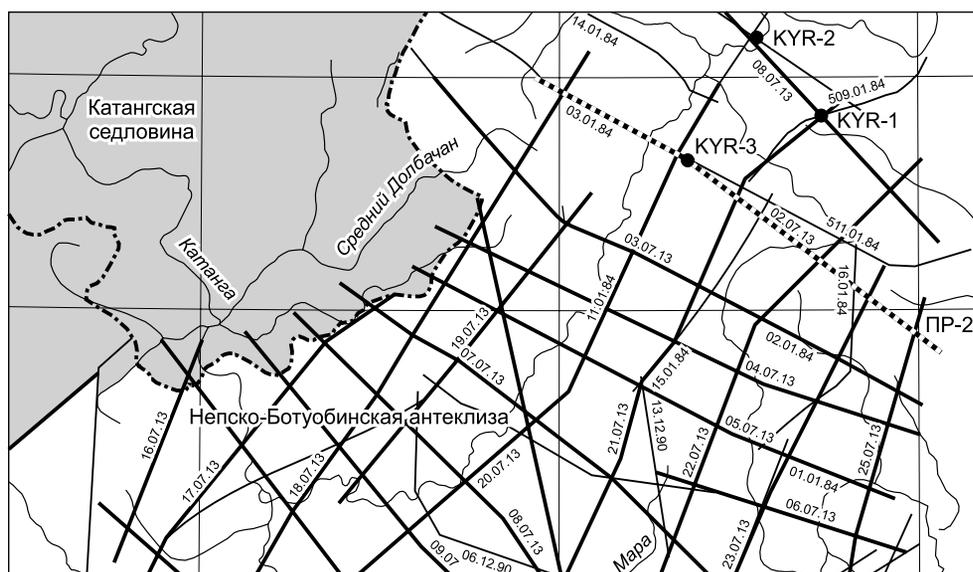


Рис. 2. Схема профилей Чулайской площади и фрагмент структурно-тектонической карты по материалам ФГУП «СНИИГГиМС» (А.С. Ефимов, М.Ю. Смирнов, 2009 г.).

Пунктиром показано положение рассматриваемого пр. 2.

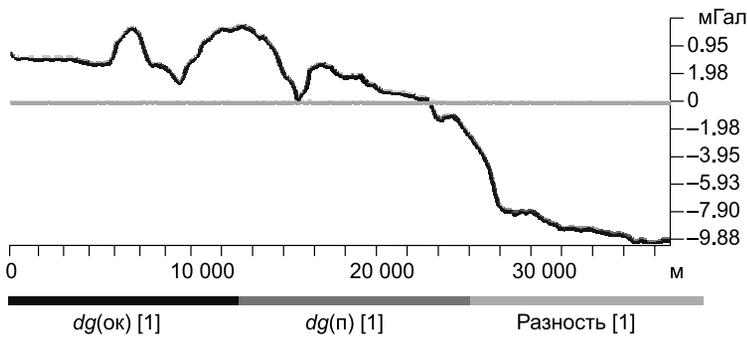


Рис. 3. Гравитационное поле вдоль пр. 2 (см. рис. 2) с графиком наблюдаемого гравитационного поля, модельного и разностью между ними.

сти, равной  $2.67 \text{ г/см}^3$ . Решая обратную задачу для наблюдаемого поля, получим модельное поле, совпадающее с исходным (см. рис. 3), и плотности, изменяющиеся от  $2.47$  до  $2.81 \text{ г/см}^3$ . Для этого диапазона плотностей эмпирические формулы зависимости  $v(\rho)$  [Пузырев, 1959; Физические свойства..., 1984; Мавко, 2009] близки к линейным в виде  $v = v_0 + b(\rho - \rho_0)$ , где  $v_0$ ,  $\rho_0$  — опорная (фоновая) скорость и соответствующая ей плотность,  $b$  — принятый коэффициент пропорциональности. Для данной площади подобраны значения коэффициентов равны:  $v_0 = 5000 \text{ м/с}$ ,  $\rho_0 = 2.67 \text{ г/см}^3$ ,  $b = 5000 \text{ (м/с)/(г/см}^3)$ .

Переход от плотности к скорости приводит к результату, изображенному на рис. 4, а, в виде изменений рассчитанного двойного времени пробега волн вдоль профиля. При этом повышенные значения скорости (при пониженных значениях поправок) в левой части профиля уменьшаются в переходной зоне и стабилизируются в зоне пониженной скорости ВЧР. Такое представление наглядно показывает скоростную модель ВЧР и предсказываемые времена пробега волн, отраженных от ее плоской подошвы. Используя эти оценки можно определить временные задержки  $dt$  для каждого пункта приема:

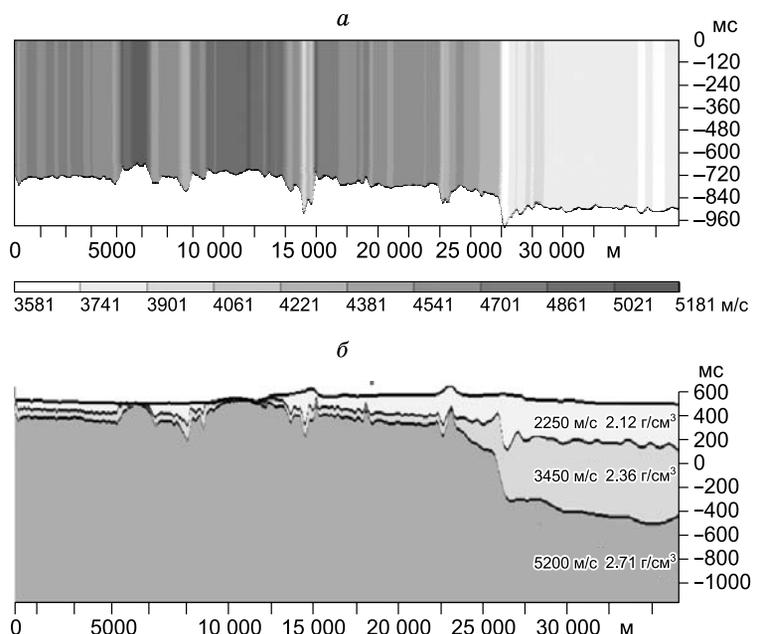
$$dt = t_0 - \frac{(H \cdot h)}{V_0},$$

где  $t_0$  — время пробега, полученное в СГ-модели ВЧР,  $H$ ,  $h$  — толщина слоя ВЧР и высота от линии приведения (использована при построении сейсмического разреза) до поверхности,  $V_0$  — средняя скорость в замещающем слое ВЧР, изменяющаяся в интервале  $3950$ — $5700 \text{ м/с}$  в соответствии с выбранной зависимостью скорость—плотность.

При  $h = 0$  (линия приведения совпадает с отметкой рельефа) в каждой точке профиля получаем поправку (отнесенную к поверхности рельефа) за слой ВЧР со средней скоростью  $V_0$ . Если принята мощность ВЧР  $H > h$ , то поправка за слой ВЧР (под линией приведения), как и за рельеф, определяются при одинаковом значении  $V_0$ , а при  $H = h$  получаем  $dt = t_0 \frac{H}{V_0}$ . В случае малой толщины слоя ВЧР и больших вариациях гравитационного поля при решении обратной задачи будут получены нереалистичные оценки плотности. При отрицательных вариациях гравитационного поля оценки плотности и, соответственно, скорости могут существенно уменьшаться, что приводит к значительной неустойчивости решения. Отсюда следует, что в однослойной модели ВЧР не следует применять модель ВЧР малой мощности и необходимо контролировать пределы оценок плотности, получаемые при решении обратной задачи.

Рис. 4. Изменения скорости, рассчитанные по линейной зависимости с плотностью, полученной решением обратной задачи гравиметрии в однослойном приближении в вертикальном двойном временном масштабе (а) и в трехслойной модели в глубинном представлении (б).

Приведены полученные значения скорости и плотности.



С увеличением мощности слоя ВЧР плотности и, соответственно, расчетные скорости уменьшаются в таких же относительных пределах при практически постоянном времени пробега волны в вертикальном блоке шириной, равной интервалам дискретизации (расстояние между сейсмоприемниками). Правильность выбора глубины залегания подошвы ВЧР, средней скорости  $V_0$  и коэффициента линейной связи между плотностью и скоростью определяется путем сопоставления с сейсмическими тестовыми оценками эффективной скорости, но главным критерием является рост соотношения сигнал/помеха в сейсмическом разрезе при увеличении кратности наблюдений, приводящем также и к улучшению прослеживаемости целевых горизонтов.

Однослойная модель обладает простотой, наглядностью, практичностью, точностью в оценке задержек времен и, наконец, единственностью решения обратной задачи. Но вертикально блоковая модель ВЧР плохо визуально воспринимается (см. рис. 4, а), так как реальные среды, сформировавшиеся в процессе осадконакопления близки к горизонтально-слоистым. Такими свойствами обладают слои, залегающие под ангарской свитой на глубине более 1200 м. Покрывающая часть разреза вплоть до дневной поверхности представлена неоднородной слоисто-блоковой толщей терригенно-карбонатных пород, состоящей из солевых отложений переменной мощности, интрузий основного состава различной формы, туфогенных образований и четвертичных рыхлых отложений, заполняющих впадины рельефа и долины рек.

От однослойной модели можно перейти к двухслойной с выклинивающимся верхним слоем пониженной плотности в соответствии с повышенным гравитационным полем в начальной части профиля (см. рис. 3), в которой верхний слой будет характеризоваться пониженной, а нижний повышенной плотностью относительно определенной в однослойном приближении. Варьируя плотности, соответствующие значениям однослойного приближения, можно получить множество вариантов строения ВЧР, используя возможности постановки и решения контактной задачи. При этом в разных моделях величина времен пробега, а следовательно, и значения задержек будут близкими при фиксированных параметрах перехода от плотности к скорости. Эта устойчивость объясняется тем, что вертикальное время пробега определяется средней скоростью, полученной в однослойном приближении. Если плотность в каком-то слое увеличится, то в соседних слоях она уменьшится, а в итоге интегральная плотностная модель будет соответствовать одному и тому же гравитационному полю и средней скорости замещения.

В результате анализа различных моделей, полученных при решении контактных задач, в рассматриваемом случае предпочтение отдано гравитационной модели ВЧР, состоящей из двух слоев, лежащих на горизонтальной подошве подстилающего третьего слоя на отметке 1200 м со значениями плотности 2.12, 2.36, 2.71 г/см<sup>3</sup> и соответствующей скорости 2250, 3450, 5200 м/с (см. рис. 4, б). Как видно, оба слоя практически выклиниваются в левой части разреза, увеличиваясь до 300 и 600 м в правой, хотя априорно все границы были заданы горизонтальными.

По данной модели в каждой точке профиля рассчитываются статические поправки с учетом сейсмической линии приведения по формуле:

$$d_{ir} = \sum_j \left( \frac{dh_j}{V_j} - \frac{dh_j}{V_0} \right) - \frac{h_r}{V_0},$$

где,  $dh_j$ ,  $V_j$  — толщина и скорость в  $j$ -м слое,  $V_0$  — средняя скорость в замещающем однородном слое ВЧР,  $h_r$  — расстояние от точки наблюдения на дневной поверхности до линии приведения.

Поскольку первоначально поправка замещения рассчитывается от поверхности, то ее перемещение на линию приведения осуществляется также со скоростью  $V_0$ . Далее в графе обработки обычно применяются стандартные процедуры коррекции и расчет спектра скоростей, который получается более упорядоченным, чем при статических поправках, рассчитанных по сейсмическим данным. Следует заметить, что выражение под знаком суммы определяет поправку замещения всей модели ВЧР, а последнее вычитаемое является поправкой за рельеф (относительно линии приведения) в однослойной модели среды. Параметр  $d_{ir}$  определяет уровень и диапазон изменения поправок и выбирается при настройке СГ-технологии на первых тестовых профилях при переходе на новую площадь.

## ВЛИЯНИЕ СГ-ПОПРАВОК НА СТРУКТУРУ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

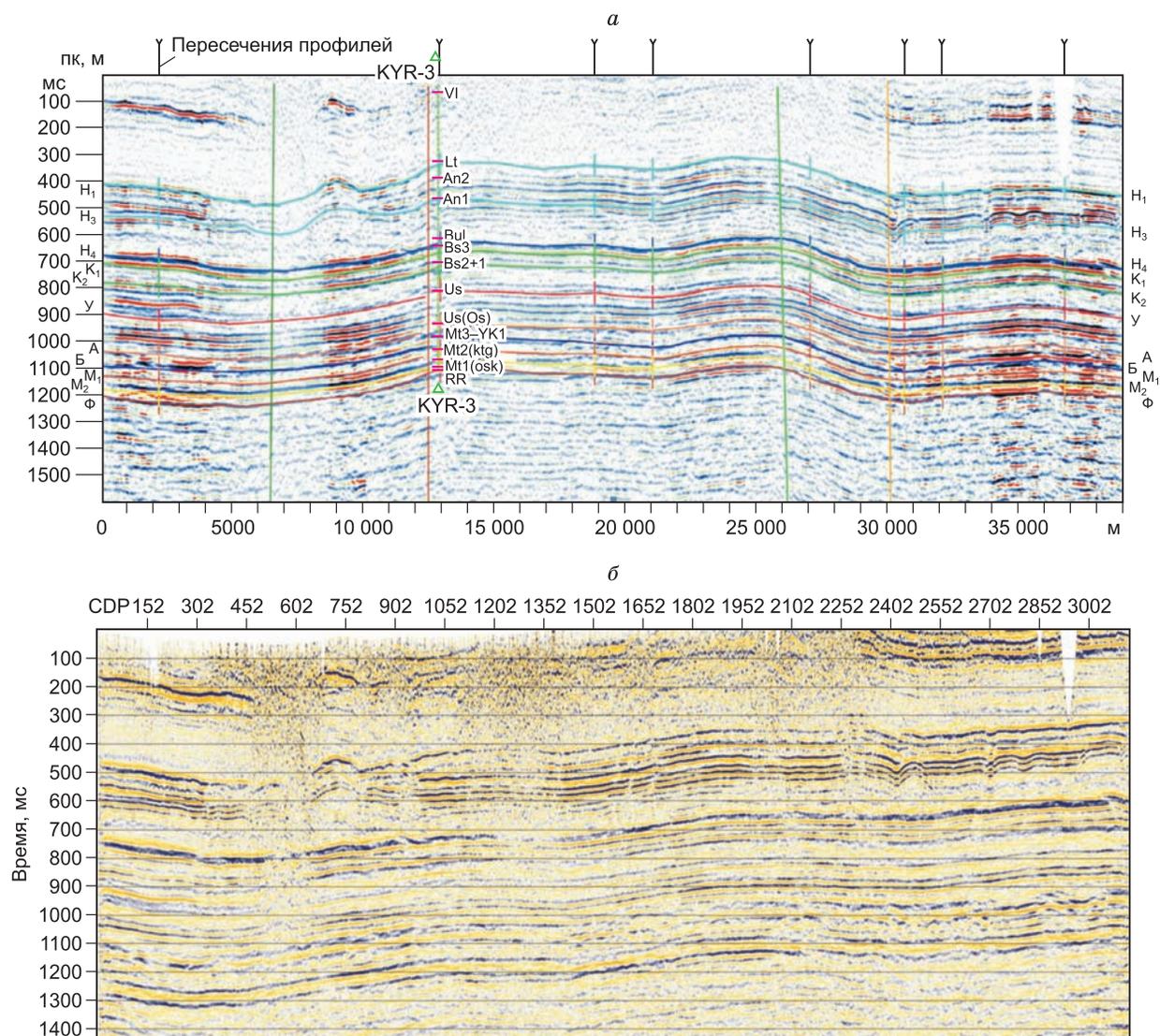
При обработке сейсмических данных первоначальные поправки обычно принято называть априорными, а конечные — финальными (рис. 5). Первые являются поправками за рельеф, рассчитываемые обычно для слоя между рельефом и линией приведения (расположенной в данном случае на 400 м над уровнем моря) при скорости в нем 3000 м/с. Финальный результат получается многократным повторением процедуры автоматической коррекции, обеспечивающей приемлемый вариант, согласующийся с ожидаемыми геолого-геофизическими моделями, основанными на скважинных или иных геологиче-



**Рис. 5. Статические априорные и финальные поправки по сейсмическим данным и СГ-технологии.**

ских данных о структуре прослеживаемых горизонтов. Практика показывает, что результат зависит от опыта и представлений обработчика и является поэтому во многом субъективным. На практике различие между априорными и финальными поправками достигает 20–40 мс, что указывает на неоптимальность априорных сейсмических поправок за рельеф (см. рис. 5). В значительной мере улучшить статические поправки

можно применением СГ-технологии, которая дает меньшее различие между априорными и финальными результатами, что указывает на их устойчивость и оптимальность при последующем уточнении процедурами автоматической коррекции.

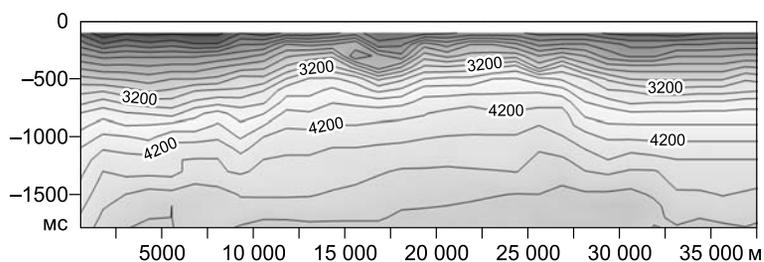


**Рис. 6. Временные разрезы по результатам:**

*a* — производственной обработки (приведен стратиграфический разрез по данным бурения), *б* — полученный СГ-технологией. Обработка И.П. Бархатова (АО «ЕнисейГеофизика»).

**Рис. 7. Изолинии распределения эффективной скорости (RMS м/с) полученные по СГ-технологии.**

Обработка И.П. Бархатова (АО «ЕнисейГеофизика»).



Характерно, что локальные изменения поправок значительной амплитуды, полученных сравниваемыми технологиями, подобны, но при изменяющихся уровнях вдоль профиля. Так, региональная компонента сейсмических поправок вдоль профиля в среднем практически постоянна, тогда как уровень гравитационных поправок в начальной части профиля в среднем на 70 мс больше и приближается к сейсмическим только на 27 км профиля, понижаясь и далее почти на 60 мс. Интересно, что на интервале профиля 25—33 км они близки, а в более узком интервале (27—31 км) вообще совпадают. Отсутствие регионального тренда в поправках производственной обработки (ПО) входит в противоречие с гравитационным полем, которое уверенно уменьшается вдоль профиля на 15 мГал, коррелируясь с увеличением мощности верхних слоев ВЧР с пониженной плотностью и, соответственно, скоростью (см. рис. 4, б).

Главной особенностью на временном разрезе, полученном при производственной обработке, является унаследованный подъем отражающих горизонтов в центральной части профиля с амплитудой двойного времени около 100 мс (рис. 6, а). Существенно, что унаследованность прослеживается и в верхней части разреза, что указывает на ее латеральную неоднородность, влияющую на структуру подстилающей толщи. При этом ее пространственное положение на западном склоне НБА вызвало определенные сомнения на этапе обработки, что и послужило основанием применения альтернативного подхода, т. е. СГ-технологии.

В модели с СГ статическими поправками структура отражающих горизонтов на временном разрезе существенно изменилась (см. рис. 6, б) в сравнении с данными ПО (см. рис. 6, а). Прежде всего, более отчетливо проявились неоднородности ВЧР, особенно в приповерхностной части, где наблюдается антиклинальное поднятие с выклинивающимися прибортовыми отложениями. Учет этой неоднородности привел к более пологой структуре подошвы ВЧР, залегающей на уровне, изменяющемся от 700—800 до 600 мс и уменьшающемся в сторону НБА. Унаследованные пологозалегающие отражающие горизонты в подстилающей толще также соответствуют модели геологического строения западного склона НБА, подтвержденной данными глубокого бурения. Подобная тенденция в поведении горизонтов характерна и на других профилях площади.

Переход от временных разрезов к глубинным иногда осуществляется с использованием эффективной скорости как при производственной обработке, так и с учетом поправок по СГ-технологии. Характер ее изменения, полученной в последнем случае, представлен на рис. 7, где хорошо проявлена латеральная неоднородность в верхней части разреза с повышенным градиентом скорости от 1800 до примерно 4200 м/с на глубине около 1000 м. В финальном глубинном разрезе производственной обработки между ПК 20—30 км фиксируется контрастное поднятие амплитудой около 150—200 м (рис. 8, а). Оно выделяется на фоне слабовыраженного также унаследованного регионального прогиба амплитудой до 200 м. Разрезы (см. рис. 1, а; 6, а; 8, а) являются типичными результатами обработки, недоучитывающими влияние неоднородностей ВЧР большой мощности, характерной для Сибирской платформы.

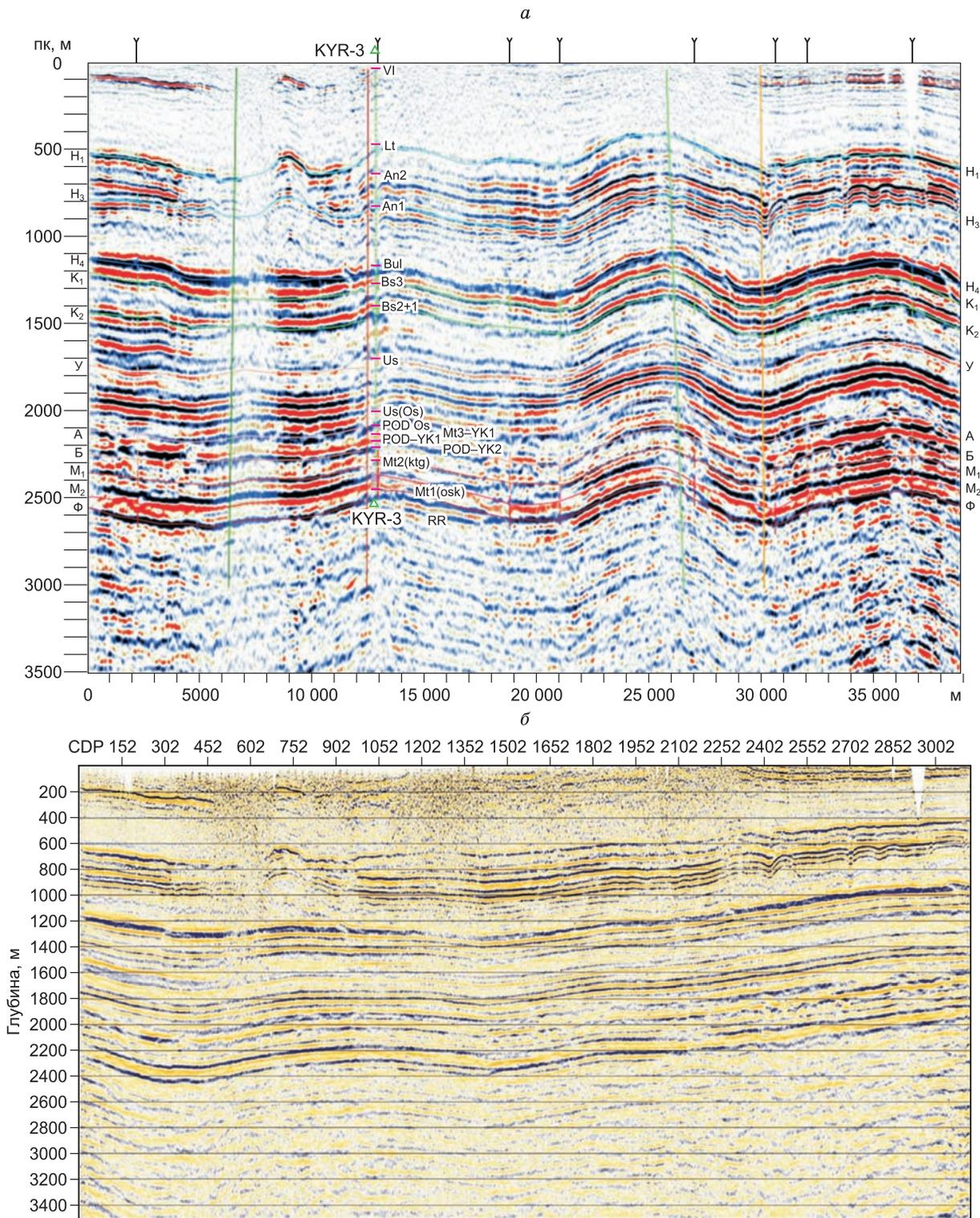
Особенности региональной геологии района и данные бурения редких глубоких скважин вблизи анализируемых профилей позволяют отдать предпочтение модели моноклинального залегания северо-западного склона НБА без наличия осложняющих его контрастных локальных поднятий (см. рис. 8, б).

Безусловно, нельзя утверждать, что полученные результаты СГ-технологии являются окончательными, однако они с большим основанием могут использоваться при заложении глубоких скважин и дальнейшего исследования сейсмогравитационным методом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты в условиях Сибирской платформы свидетельствуют, что толщина ВЧР характеризуется не только резко изменчивой мощностью, но и сложным внутренним строением слагающих ее геологических объектов (терригенные, карбонатные породы, долериты, туфогенные образования, рыхлые четвертичные отложения, зоны мерзлоты и участки таликов и др.) различных размеров, состава и плотности. Это приводит к пониманию того, что мощная (1000 м и более) неоднородная ВЧР является главным источником аномалий гравитационного поля. Использование в СГ-технологии высо-

коточных аномалий Буге обеспечивает получение более достоверных статических поправок для каждого пункта приема, которые можно использовать как априорные в дальнейшей обработке. Их применение существенно сокращает время на обработку сейсмических данных, улучшает структуру отражающих горизонтов и, как следствие, повышает достоверность геологических моделей осадочного чехла и прогноза нефтегазоперспективных зон и объектов.



**Рис. 8. Глубинные разрезы по результатам:**

*a* — производственной обработки, *б* — по СГ-технологии. Обработка И.П. Бархатова (АО «ЕнисейГеофизика»).

Автор признателен рецензентам: В.Д. Суворову за основательный анализ работы и рекомендацию по изменению названию статьи, что привело к ее существенному улучшению и сокращению; С.Г. Бычкову за обсуждение гравиметрической части алгоритмов и результатов; В.И. Вальчаку за организацию тестирования технологии, участие в геологическом анализе результатов, редактировании и обсуждении проблем, затронутых в статье; И.П. Бархатову, И.В. Гозу за участие в тестировании технологии; А.Е. Королевой и В.С. Полякову за помощь в редактировании статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Вальчак В.И., Евграфов А.А., Горюнов Н.А., Бабинцев А.Ф.** Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности рифейского комплекса пород юго-западной части Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (2), с. 289—298.

**Кочнев В.А.** Адаптивные методы интерпретации сейсмических данных. Новосибирск, Наука, 1988, 152 с.

**Кочнев В.А., Хвостенко В.И.** Адаптивный метод решения обратных задач геофизики // Геология и геофизика, 1996, т. 37 (7), с. 120—129.

**Кочнев В.А., Гоз И.В.** Возможности гравиметрии и магнитометрии при интерпретации сейсмических данных // Геофизика, 2008, № 4, с. 28—33.

**Кочнев В.А., Гоз И.В., Карху Э.А., Кульчинский Ю.В.** Опыт расчета статических поправок в условиях Тунгусской синеклизы с использованием пакета ADG-3D // Материалы 34-й сессии Межд. семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». (М., 29 января — 3 февраля 2007 г.). М., 2007, с. 150—153.

**Кочнев В.А., Васильев Д.В., Сидоров В.Ю.** Пакет для решения прямых и обратных трехмерных задач гравиметрии ADG-3D // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2011611667, 2011.

**Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С., Мячев С.Б., Поспеева Н.В., Нифонтов И.В.** Опыт применения технологии расчета плотностной и скоростной моделей и статических поправок по гравиметрическим данным при обработке сейсмических данных, полученных в Восточной Сибири // Материалы 14-й научно-практич. конф. по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных при геологическом моделировании месторождений углеводородов «Геомодель-2012». Геленджик, EAGE, 2012, 6 с.

**Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С.** Технология расчета плотностной и скоростной моделей и статических поправок по гравиметрическим данным // Геофизика, 2014, № 1, с. 2—7.

**Кочнев В.А., Вальчак В.И., Гоз И.В., Поляков В.С.** Проблемы сейсморазведки в Восточной Сибири и предлагаемые пути их решения. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле // Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Труды конференции, 2016, т. 2, с. 82—87.

**Музыченко Б.И., Ефимов А.С.** Метод динамического анализа вертикального годографа — эффективный способ изучения строения верхней части разреза при проведении нефтегазопоисковых сейсморазведочных работ в трапонасыщенных районах Сибирской платформы // Сб. тр. научно-практ. конф. «Пути повышения эффективности геолого-разведочных работ на нефть и газ в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия)». Новосибирск, 2006, с. 227—230.

**Пузырев Н.Н.** Интерпретация данных сейсморазведки методом отраженных волн. М., Гостортехиздат, 1959, 452 с.

**Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика).** Справочник геофизика / Ред. Н.Б. Дортман. М., Недра, 1984, 456 с.

**Buchkov S., Mityunina I.Y.** Near-surface correction on seismic and gravity data // J. Earth Sci., 2015, v. 26, p. 851—857.

**Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J.** The rock physics handbook. Tools for seismic analysis of porous media. Cambridge, Cambridge University Press, 2009, 544 p.

**Setiyono K., Gallo S., Boulanger C.** Near surface velocity model of the Dukhan field from microgravity and resistivity to enhance PSDM seismic imaging // 76th EAGE Conference and Exhibition. Amsterdam, 2014, p. 1—5.

*Поступила в редакцию 3 декабря 2019 г.,  
принята в печать 16 марта 2020 г.*