

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРКОВСКОЙ ГИПСОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

А.Г. Черников (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),
Н.В. Либина (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)

При изучении геологического строения дна геофизическими методами в основном используются различные модификации сейсморазведки. Инструментальные наблюдения с целью оценки углеводородного потенциала региона, поиска или разведки нефтегазовых залежей, как правило, проводятся различными компаниями локально, в пределах лицензионных участков, с различной степенью детальности и соблюдением режима коммерческой тайны. В связи с этим увязка и интеграция имеющихся фрагментарных и разрозненных данных в обобщенную бассейновую модель представляет серьезную проблему.

Возникает необходимость получения помимо общей оценки углеводородного потенциала различных бассейнов еще и прогнозов геологического строения подповерхностных отложений на больших пространствах, включая и глубоководные участки акваторий. Для решения этой задачи авторами [2] был разработан новый метод – «марковская гипсотомография».

Марковская гипсотомография представляет собой новый способ прогнозирования и построения трехмерной модели внутреннего строения геологического объекта, основой которого является изучение профильных или площадных изменений марковских свойств регулярных гипсометрических (батиметрических) данных.

Многие природные процессы, в том числе и геологические, характеризуются тем, что в них наблюдается влияние предшествующих событий на последующие. Такие процессы носят название марковских [1]. Характерным для марковских процессов является то, что вероятность системы находиться в данном состоянии в заданный момент времени можно вывести из сведений о ее предшествующем состоянии. Частным случаем марковского процесса является цепь Маркова. Ее можно рассматривать как последовательность дискретных состояний во времени или пространстве, для которых вероятность перехода из одного состояния в заданное, за последующий шаг, зависит от предшествующего состояния. Марковское свойство, или марковость, представляет собой зависимость вероятности каждого перехода от непосредственно предшествующего состояния (s_i) в момент времени t_{i-1} в состояние (s_j) в момент времени t_i . Наиболее ярким примером проявления марковских свойств в геологии является чередование слоев литотипов в стратиграфических последовательностях.

Изучение глубинного строения дна методом марковской гипсотомографии базируется на предположении о наследовании марковских свойств рельефа поверхности (или каких-либо других свойств нижележащих стратиграфических горизонтов) в рельефе или свойствах поверхности перекрывающих наслоений. Надо отметить, что это не означает прямого наследования собственно предшествующего рельефа последующим рельефом.

Если имеется несколько последовательно залегающих слоев (толщ), контрастных по геолого-геофизическим свойствам, то границы разделов слоев обладают рельефом, последовательно сформированным условиями осадконакопления, тектонической историей и последующей денудацией. Каждая из границ может быть математически описана в виде простой однородной марковской последовательности отметок значений свойств по множеству профилей, секущих границу. Вертикальная (стратиграфическая) изменчивость марковских описаний границ разделов рассматривается как изменение марковской последовательности величин значений свойств на границах и считается сложной марковской цепью, укрупненной по множеству исходных состояний [1]. В этом случае, согласно теории марковских процессов, предыдущее состояние (марковость подстилающего слоя) вероятностно определяет состояние последующее – марковость покрывающего слоя. Следовательно, изучая определенным образом марковские свойства на поверхности, представляется возможным получить информацию о глубинном строении региона.

Для построения 3D бассейновой геологической модели используются площадные цифровые батиметрические карты и специально разработанный комплекс программ обработки, позволяющий проводить виртуальное глубинное зондирование массива пород путем марковского преобразования измеренных свойств поверхности как по профилям, так и по площадям наблюдений. Полученная

модель изменчивости марковских свойств методом инверсии пересчитывается в модели петрофизических характеристик с использованием априорной информации об акустических и (или) плотностных свойствах среды. Сформированная модель представляет собой нечеткий образ вероятностного распределения в 3-мерном фазовом пространстве прогнозируемого свойства объекта.

Глубинность и детальность исследований помимо шага дискретизации батиметрических данных определяются следующими факторами:

- 1) L – ширина окна сканирования (количество точек в исследуемой последовательности);
- 2) ΔL – шаг наблюдения (расстоянием между точками);
- 3) f – частотная характеристика анализируемого параметра (число определенных на числовой последовательности марковских состояний).

Результатом обработки свойств рельефа является 3D геологическая модель объекта, визуализация которой осуществляется путем расчета томограмм в различных сечениях 3-мерного пространства [3].

Предварительные прогнозные расчеты для региональных исследований могут выполняться по цифровым батиметрическим моделям с дискретностью данных 2–5 км для построения региональных (бассейновых) моделей. За счет изменения установочных величин также могут быть выделены площадные участки для расчета более детальных, но, соответственно, менее глубинных моделей. Далее по полученным результатам могут целенаправленно выбираться участки для постановки детальных инструментальных геофизических наблюдений.

В качестве объекта, на котором выполнялось опробование метода гипсотомографии и его программного обеспечения, была принята акватория Японского моря (с материковым и островным обрамлением). Японское море расположено в пределах активной окраины Тихого океана и отделено от него цепью Японских островов. В рельефе дна моря выделяют шельф, материковый склон, глубоководные котловины и подводные возвышенности. Глубоководная котловина разделяется подводными возвышенностями Ямато, Кита-Оки и Оки на три впадины – Центральную (максимальная глубина 3699 м), Хонсю (3063 м) и Цусимскую (2300 м). Структуры Японского моря обрамляются структурами Сихотэ-Алиньской, Сахалинской и Японской покровно-скаладчатых областей, а также Корейского щита.

Акватория площадью более 1 млн км², представленная в виде электронной грид-карты рельефа с расстоянием между узлами решетки порядка 1,8 км, изображена на рис. 1.

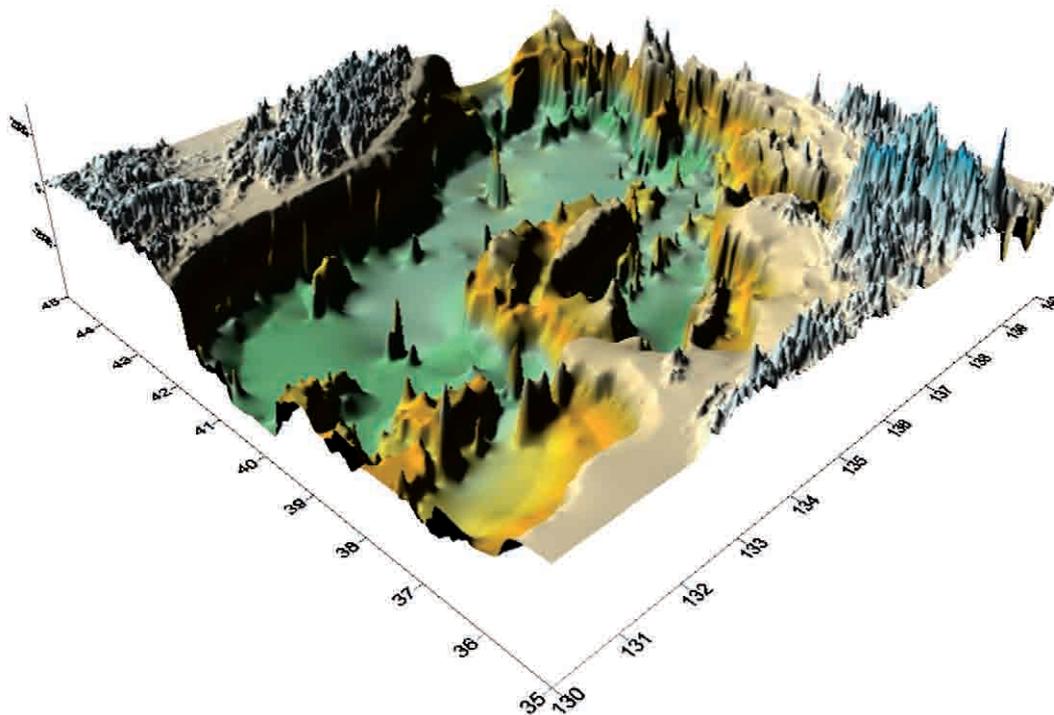


Рис. 1. Проекция электронной карты рельефа дна Японского моря и прилегающей территории, принятой к обработке методом марковской гипсотомографии

Рассчитанные томограммы моделируемого объекта визуализируются в виде ортогональных срезов, выраженных в единицах кажущейся скорости (V_k). Одна из томограмм, рассчитанная по профилю, проведенному по 40-й параллели, и сопоставленная с рельефом моделируемой акватории, приведена на рис. 2.

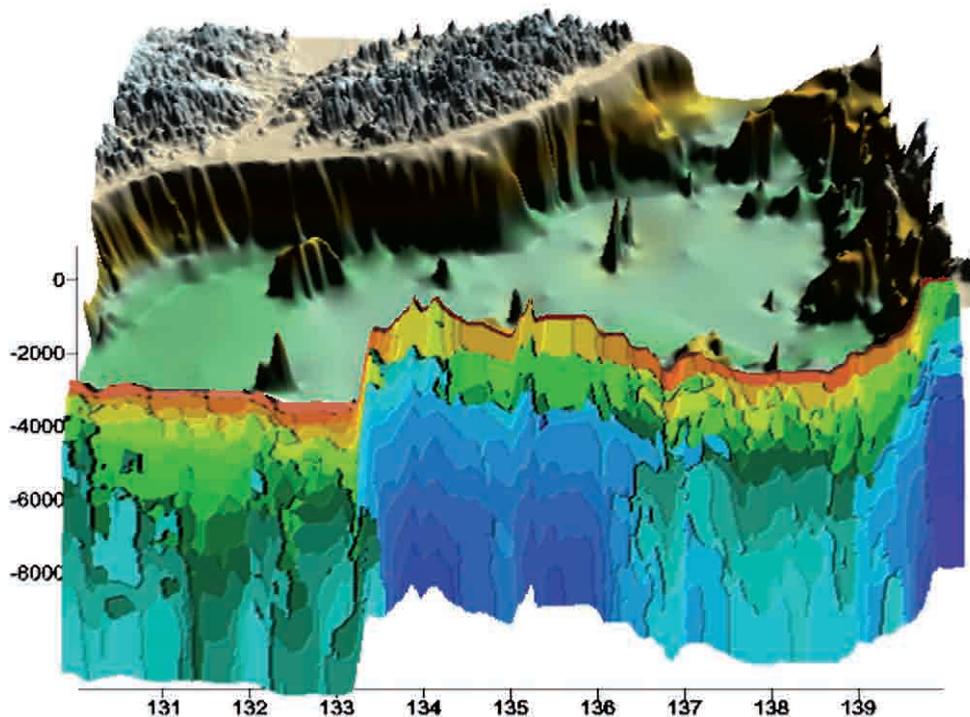


Рис. 2. Фронтальный срез (томограмма) 3D модели подповерхностного строения геологических отложений Японского моря и его обрамления, сопоставленный с пересекаемым рельефом

Для большей наглядности строение объекта следует представлять в виде серии ортогональных сечений – YZ , XZ , XY .

На рис. 3–5 приводятся подобные серии.

Представленный на рис. 3 и 5 вертикальный прогноз строения подповерхностных отложений акватории Японского моря выполнен до глубины 7 км. В этом же интервале глубин для фиксированных значений расстояния от поверхности на рис. 4 показана площадная изменчивость прогнозных значений скорости (V_k).

Приведенные результаты опробования метода марковского гипсотомографического прогнозирования-моделирования подповерхностных геологических отложений Японского моря выполнены по материалам, содержащимся на мелкомасштабных электронных батиметрических картах открытого доступа GEBCO. Для повышения детальности и достоверности геологического прогноза необходимо проведение комплексного анализа батиметрических карт большего разрешения.

Априорные данные о строении крупного региона, полученные на основании обработки результатов дистанционных измерений рельефа, позволят с большей уверенностью осуществлять проектирование поисково-разведочных работ, а также могут служить основой для интерполяции в геологическом пространстве фрагментированных наблюдений и интеграции разнохарактерных данных в обобщенную бассейновую модель.

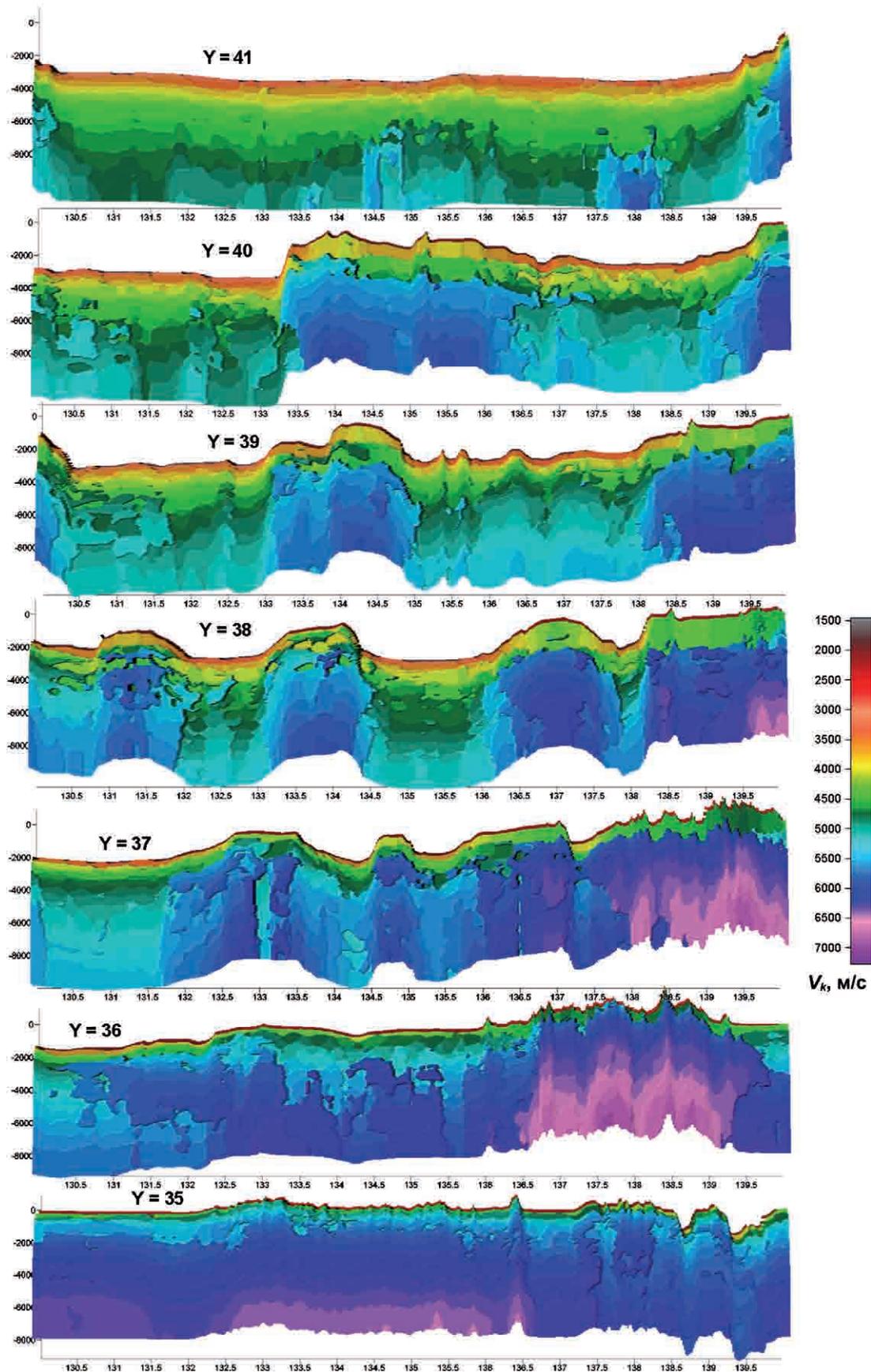


Рис. 3. Томограммы глубинного строения Японского моря и прилегающих территорий в направлении З-В

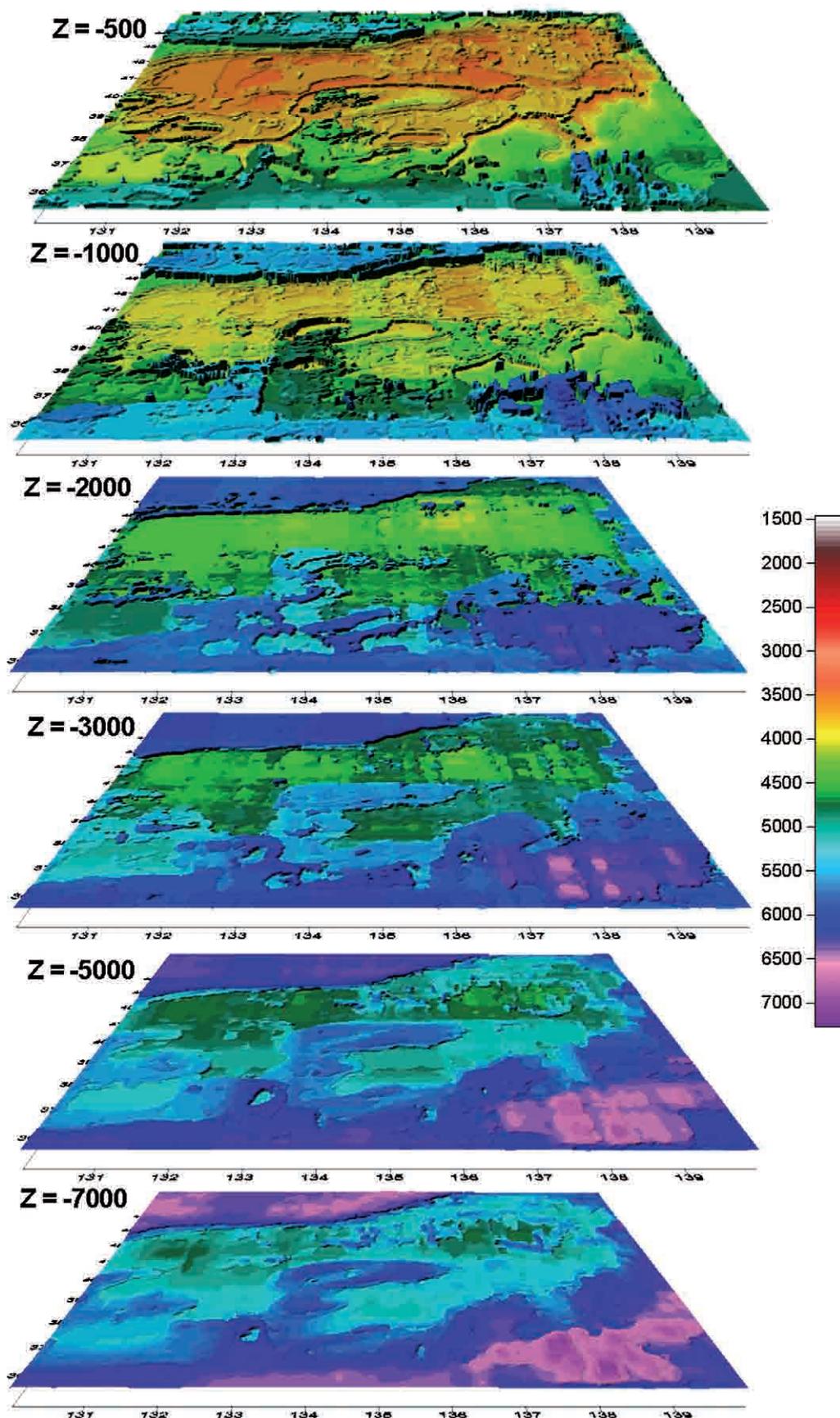


Рис. 4. Томограммы структуры морского дна Японского моря и прилегающих территорий, рассчитанные по площади акватории на различных глубинах (Z) от земной поверхности

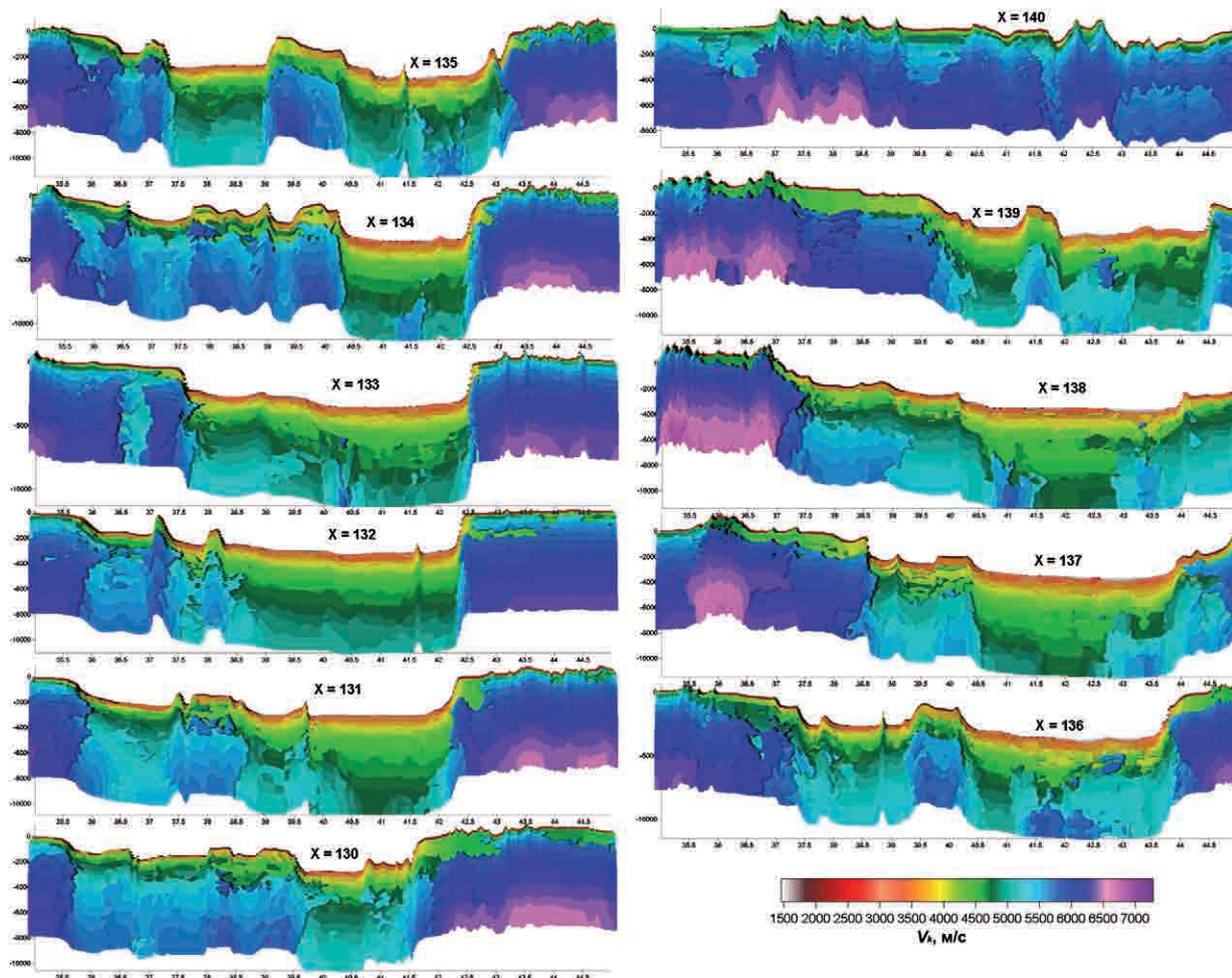


Рис. 5. Томограммы глубинного строения Японского моря и прилегающих территорий в направлении Ю-С

Список литературы

1. Вистелиус А.Б. Основы математической геологии / А.Б. Вистелиус. – Л.: Наука, 1980. – 389 с.
2. Черников А.Г. Изучение внутреннего строения Земли на основе марковского анализа гипсотметрии ее поверхности / А.Г. Черников, М.Б. Матушкин, Н.В. Либина // Разведка и охрана недр. – 2001. – № 2. – С. 57–59.
3. Черников А.Г. Использование Марковской гипсотомографии при геологических исследованиях в океанологии / А.Г. Черников, Н.В. Либина // Океанология. – 2011. – Т. 51. – № 3. – С. 1–5.
4. Черников А.Г. Новый способ дистанционного прогнозирования инженерно-геологических характеристик сложных геодинамических объектов / А.Г. Черников, М.Б. Матушкин, Ю.С. Исаев // ГИАБ. – 2010. – № 7. – С. 177–186.