

УДК 551.465

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВПАДИН СКАН И ЯГАН (МОРЕ СКОТИЯ)

© 2018 г. Ал. А. Шрейдер¹, *, А. А. Шрейдер², **, А. Э. Сажнева², Х. Галиндо-Зальдивар³,
П. Руано³, А. Мальдонадо⁴, Я. Маргос-Мартин⁴, Ф. Лобо⁴

¹Общество с ограниченной ответственностью “Научно-исследовательский институт экономики
и организации управления в газовой промышленности”, Москва, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

³Гранадский университет, Гранада, Испания

⁴Андалузский Институт наук о Земле, Гранада, Испания

*e-mail: aschr@ocean.ru

**e-mail: alexe@ocean.ru

Поступила в редакцию 31.05.2016 г.

После доработки 28.06.2016 г.

Строение осадочного слоя моря Скотия является основой для восстановления геологической истории развития его дна в позднечетвертичное время. Одним из важнейших элементов дна юга моря Скотия является впадина Скан. Формирование впадины Скан играло существенную роль в фрагментировании американо-антарктического континентального моста, объединявшего банки Брюс и Дискавери. К настоящему времени удалось восстановить основные параметры осадочной толщи впадины Скан, но самая верхняя часть разреза не отражена в литературных источниках из-за отсутствия данных. С помощью высокоразрешающего сейсмопрофилографа TOPAS PS 18/40 на профиле наблюдения испанского научно-исследовательского судна “Гесперида” в центральной части впадины выделено три слоя. Совокупная средняя мощность первого отражающего горизонта составляет 3.7 мс, второго – 2.3 мс, третьего – 1.8 мс. Слои имеют относительно выдержанную толщину и четко трассируются вдоль профиля. Учет литературных данных о параметрах седиментации позволяет оценить совокупное среднее время отложения по профилю первого слоя в 133 тыс. лет, второго – в 84 тыс. лет, третьего – в 64 тыс. лет, а общее совокупное среднее время накопления осадочного материала всех трех слоев по профилю составляет 281 тыс. лет.

DOI: 10.1134/S0030157418040081

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое значение придается исследованиям вертикальной структуры осадков котловин Яган, Она и впадин Скан, Доу, Протектор на юге моря Скотия, которые являются весьма важными для восстановления геологической истории новейшего этапа формирования дна акватории моря [16, 18, 22 и др.]. Развитие дна впадины Скан изучается, главным образом, геофизическими методами, среди которых ведущее место принадлежит акустическим методам исследования [13, 14, 16, 18–20, 24]. С их помощью удалось восстановить основные параметры осадочной толщи, включая морфологию акустического фундамента. Вместе с тем, самая верхняя часть осадочного разреза, связанная с новейшим этапом развития дна котловины Скан в позднечетвертичное время, не отражена в материалах литературных источников из-за отсутствия данных. Первому представлению данных о вертикальной структуре приповерхностных осадков и восста-

новлению на этой основе особенностей истории позднечетвертичной седиментации в центральной части впадины Скан посвящена настоящая работа. Анализ структуры приповерхностных осадков во впадине проводился на основе анализа оригинальных сейсмоакустических данных, полученных в экспедициях испанского научно-исследовательского судна “Гесперида” с помощью специализированной системы TOPAS PS 18/40, предоставленных руководством Института наук о Земле (Гранада, Испания) в Лабораторию геофизики и тектоники дна Мирового океана Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН для обработки.

АППАРАТУРА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование структуры приповерхностных осадков осадочных бассейнов важно для восстановления новейшего этапа их геологической истории. Ряд методических вопросов такого изучения был изложен в работах [4–8]. Структура оса-

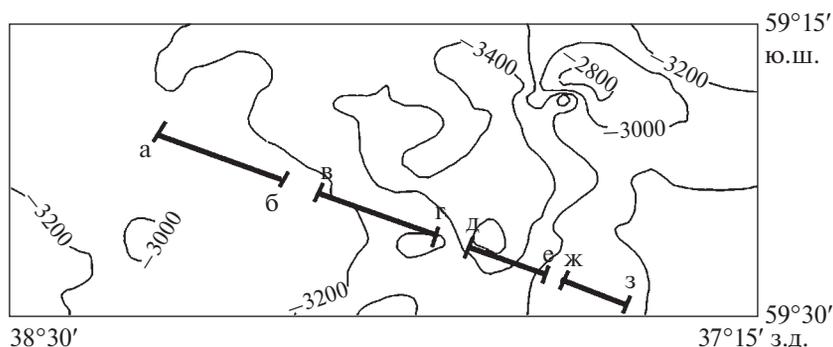


Рис. 1. Район исследований во впадине Скан. Изобаты в метрах. Показано положение анализируемого профиля аз.

дочного слоя в котловинах Яган, Она и во впадинах Скан, Доу, Протектор изучается, главным образом, с помощью сейсмических методов исследования. В последние годы значительное внимание стало уделяться высокоразрешающим акустическим системам. К числу наиболее современных образцов аппаратуры данного класса относится система TOPAS PS 18/40, разработанная фирмой Kongsberg (Норвегия). Ее применение на испанском исследовательском судне “Гесперида” позволило изучить строение приповерхностных осадков в центральной части впадины Скан и впервые по исследуемому профилю аз (рис. 1) выявить их тонкую структуру (рис. 2). В качестве важного дополнительного источника информации о рельефе дна на судне используется многолучевой эхолот SIMRAD EM 120 с полосой охвата дна до 60° в сторону от курса движения судна. Полученная в результате исследований с помощью системы TOPAS PS 18/40 информация находится на этапе накопления и используется для формирующегося на базе Андалузского Института наук о Земле (Гранада, Испания) банка такого рода информации. Поступающие данные сопровождаются соответствующими сведениями о гринвичском времени проведения наблюдений и географическими координатами, определяемыми в системе GPS.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Впадина Скан расположена на юге моря Скотия северо-восточнее банки Брюс, имеет треугольную форму и дно ее сложено океанической корой [18]. Впадина имеет длину около 250 км и ширину от 40 км на юге до 150 км на севере. Формирование впадины Скан играло главную роль в фрагментировании континентального массива, объединявшего банки Брюс и Дискавери [16, 18].

Детальный анализ материалов, полученных вдоль фрагментов профиля аз (рис. 1) во впадине Скан с помощью геоакустической системы TOPAS PS 18/40, позволил непосредственно ниже дна зафиксировать три приповерхностных слоя осад-

ков (рис. 2). Поверхность дна вдоль профиля наблюдений лежит на глубинах 2812 – 2906 м. Суммарная мощность выделенных вдоль профиля трех слоев осадков в единицах времени двойного пробега сейсмического сигнала составляет для анализируемого профиля аз (рис. 1) для участков аб, вг, де, жз 7.9, 10, 9.1, 8.5 мс соответственно. При этом средняя мощность первого слоя составляет для участков аб, вг, де, жз 3.5, 4.3, 3.2, 3.8 мс соответственно. Средняя мощность второго слоя составляет для участков аб, вг, де, жз 2, 2.2, 2.9, 2.2 мс соответственно. Средняя мощность третьего слоя составляет для участков аб, вг, де, жз 2.0, 1.6, 1.8, 1.6 мс соответственно. Слои имеют относительно выдержанную толщину и хорошо визуально трассируются вдоль профиля, что свойственно и другим районам, таким как котловина Яган.

По впадине Скан отсутствуют данные о сейсмических скоростях распространения упругих волн в приповерхностных слоях осадков. Поэтому для перехода из временной системы в метрическую были изучены опубликованные материалы в соседних районах. В работе [21] приведены скорости сейсмических волн в осадках в море Уэдделла. Наиболее поверхностные осадки характеризуются скоростью продольных сейсмических волн 2 км/с, что близко к скоростной характеристике осадконакопления в котловинах Яган, Она и в других околоантарктических районах (например, [10]).

Принимая указанную скорость сейсмических волн для перехода из временной системы в метрическую, получаем по исследуемому разрезу, что средняя мощность первого слоя составляет для участков аб, вг, де, жз 3.5, 4.3, 3.2, 3.8 м соответственно. Средняя мощность второго слоя составляет для участков аб, вг, де, жз 2.0, 2.2, 2.9, 2.2 м соответственно. Средняя мощность третьего слоя составляет для участков аб, вг, де, жз 2.0, 1.6, 1.8, 1.6 м соответственно.

При этом наиболее глубокая точка подошвы первого слоя лежит ниже поверхности дна для участков аб, вг, де, жз на 3.8, 5.7, 4.2, 5.3 м соответственно. Наиболее глубокая точка подошвы вто-

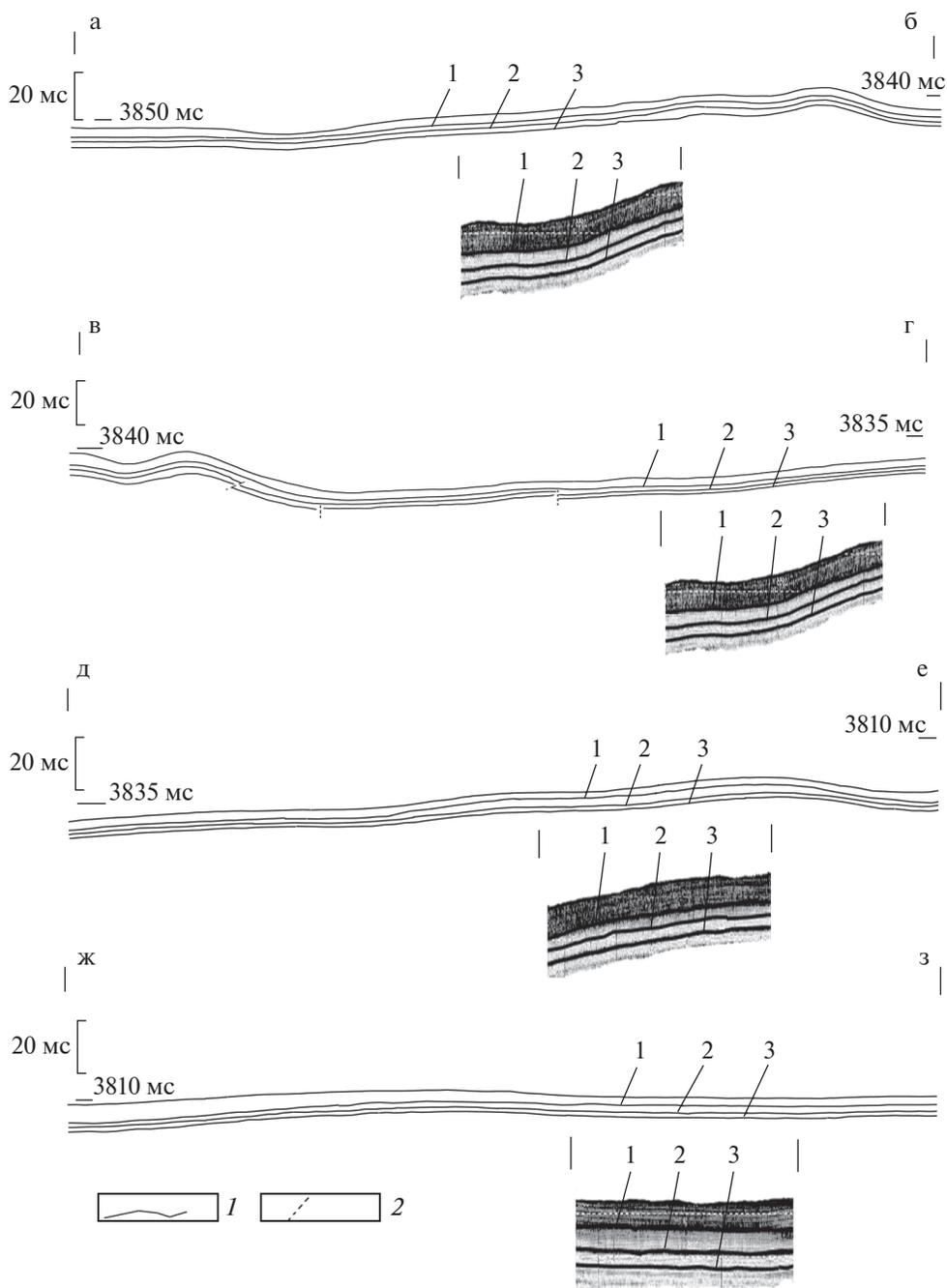


Рис. 2. Сейсмоакустические разрезы аб, вг, де, жз во впадине Скан вдоль анализируемого профиля с фрагментами отфильтрованной первичной записи. Цифрами 1, 2, 3 обозначены выделенные приповерхностные осадочные слои. 1 – Подошвы выделенных слоев 1, 2 и 3; 2 – обнаруженные нарушения слоистости осадков.

рого слоя лежит на глубине ниже поверхности дна для участков аб, вг, де, жз на 5.9, 7.9, 7.6, 6.8 м соответственно. Наиболее глубокая точка подошвы третьего слоя лежит на глубине ниже поверхности дна для участков аб, вг, де, жз на 7.9, 10, 9.1, 8.5 м соответственно.

Все выделенные слои входят в толщу седиментационного слоя 1, приведенного в работе [19]. Его подошва соответствует разделу между позд-

неплиоценовым и раннеплиоценовым временем, оцениваемым в работе [19] в 3.8 млн лет. В то же время согласно наиболее современной версии геохронологической шкалы [15], развивающей работу [9], возраст этого раздела составляет 3.6 млн лет. Если в соответствии с работой [19] принять, что осадконакопление в пределах слоя 1 происходило со средней скоростью 2.78 см/тыс. лет, то, с учетом указанной выше корректировки воз-

раста границы между позднеплиоценовым и раннеплиоценовым временем, среднее время отложения вдоль анализируемого профиля аз первого слоя можно оценить в 133 тыс. лет, второго слоя — в 84 тыс. лет и третьего слоя — в 64 тыс. лет.

Соответственно возраст подошвы первого слоя составляет в среднем 133 тыс. лет, возраст подошвы второго слоя составляет в среднем 217 тыс. лет, а возраст подошвы третьего слоя составляет 281 тыс. лет.

По акустическим характеристикам, и учитывая данные [1–3, 12, 19, 21, 23, 26–28], нельзя исключить вероятности, что осадки могут быть представлены хемипелагическими терригенными алевритово-пелитовыми илами с прослоями турбидитов, а также продуктами ледового разноса.

Анализ возрастов границ, разъединяющих выделенные осадочные слои, показывает, что возраст границы подошвы второго слоя совпадает с теплым (стадия 7) временем, начало которого датируется как 191 тыс. лет [17, 25]. Возраст границы подошвы третьего слоя близок к холодному (стадия 8) времени, начало которого датируется как 243 тыс. лет [17, 25]. В то же время некоторые известные в [17, 25] чередования теплого и холодного времени в интервале 0–280 тыс. лет не нашли своего отражения в слоистости, выделяемой на анализируемом профиле по данным TOPAS PS 18/40. Нельзя исключить, что, как и в работе [11], отсутствие отдельных слоев явилось следствием недостаточно резких температурных контрастов теплых и холодных времен, что отразилось в отсутствии четкой слоистости, выделяемой аппаратурой TOPAS PS 18/40 в соответствующих отложениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований НИС “Гесперида” впервые выявлена тонкая структура приповерхностных осадков в котловине Скан. С помощью высокоразрешающего сейсмопрофилографа TOPAS PS 18/40 на профиле наблюдений удалось выделить те же три слоя, что и в работе [11], но мощность каждого из них оказалась иная, что, возможно, отражает локальные особенности седиментации. Совокупная средняя мощность первого отражающего горизонта составила 3.7 мс, второго — 2.3 мс, третьего — 1.8 мс. Слои имеют относительно выдержанную толщину и четко трассируются вдоль профиля. Имеющиеся сведения о скоростях продольных сейсмических волн и скоростях седиментации в приповерхностных осадках в котловине Яган и других районах моря Скотия [19, 21] позволяют оценить совокупное среднее время отложения по профилю первого слоя в 133 тыс. лет, второго — в 84 тыс. лет, третьего — в 64 тыс. лет, а общее совокупное среднее время накопления осадочного материала всех трех слоев по профилю составляет 281 тыс. лет. Указанные данные о скоростных режимах полу-

чены по единичным измерениям и могут быть подвергнуты коррекции в дальнейшем, что отразится на параметрах седиментации в метрическом диапазоне. По акустическим характеристикам и учитывая данные [1–3, 12, 19, 21, 23, 26–28], нельзя исключить вероятности того, что по своему составу осадки могут быть представлены хемипелагическими терригенными алевритово-пелитовыми илами с прослоями турбидитов, а также продуктами ледового разноса.

Полученная в результате исследований с помощью системы TOPAS PS 18/40 информация является первой и используется для формируемого на базе Андалузского Института наук о Земле (Гранада, Испания) банка такого рода данных для моря Скотия, структура и объем которого находится в процессе становления и развития.

Методические аспекты настоящего исследования прорабатывались в рамках Государственного задания проект № 0149-2018-0015, а результативная часть работы выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-05-00075).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитренко О.Б., Лукашина Н.П., Оськина Н.С.* Верхнечетвертичная биостратиграфия и условия образования донных осадков колонки АСВ-17-1447 Юго-Западной Атлантики по микрофоссилиям // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 2. С. 270–281.
2. *Левитан М.А., Рощина И.А., Толмачева А.В.* Геохимические особенности отложений континентального склона моря Уэдделла и их палеоокеанологическая интерпретация // *Литология и полезные ископаемые*. 2008. № 2. С. 128–142.
3. *Левитан М.А., Штайн Р.* История скоростей осадконакопления в ледовой зоне седиментации за последние 130 тыс. лет // *Литология и полезные ископаемые*. 2008. № 1. С. 74–86.
4. *Сажнева А.Э.* Методика формирования 3D-изображений дна водоемов по данным интерферометрического гидролокатора бокового обзора // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 4. С. 622–624.
5. *Сажнева А.Э.* Применение стереограмм для визуализации форм рельефа дна // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 3. С. 408–411.
6. *Сажнева А.Э.* Технологии выявления скрытой информации изображений (на основе гидролокационных исследований). М.: Научный мир, 2013. 86 с.
7. *Сажнева А.Э.* Использование структурных особенностей донного рельефа при выявлении опасных для инженерных сооружений участков морского дна // *Геориск*. 2015. № 2. С. 38–40.
8. *Сычев В.А., Сажнева А.Э.* Акустические стереоизображения поверхности дна // *Океанология*. 2006. Т. 46. № 5. С. 795–798.
9. *Шрейдер А.А.* Магнетизм океанической коры и линейные палеомагнитные аномалии // *Физика Земли*. 1992. № 6. С. 59–70.
10. *Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Галиндо–Зальдивар Х. и др.* Стрoение коры пролива Брансфилд // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 1. С. 126–138.

11. Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Сажнева А.Э. и др. Позднечетвертичная седиментация во впадине Скан (море Скотия) // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах. М.: ООО "ПРИНТ ПРО", 2016. С. 197–200.
12. Diekmann B., Futterer D.K., Grobe H. et al. Terrigenous Sediment Supply in the Polar to Temperate South Atlantic: Land-Ocean Links of Environmental Changes during the Late Quaternary // The South Atlantic in the Late Quaternary: Reconstruction of Material Budget and current systems. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2004. P. 375–399.
13. Galindo-Zaldivar J., Martos Y., Schreider A. et al. Variability of oceanic spreading in Scan basin from magnetic anomalies standpoint (Southwestern Scotia Sea, Antarctica) // XII ISAES Symp. Proc. Goa. 2015. P. 272.
14. Galindo-Zaldivar J., Puga E., Bohoyo F. et al. Magmatism, structure and age of Dove Basin (Antarctica): A key to understanding South Scotia Arc development // Glob. Planet. Change. 2014. V. 122. P. 50–69.
15. Gradstein F., Ogg J., Schmitz M., Ogg G. The Geologic Timescale 2012. Elsevier, 2012. 1139 p.
16. Hernandez-Molina F.J., Bohoyo F., Naveira Garabato A. et al. The Scan Basin evolution: Oceanographic consequences of the deep connection between the Weddell and Scotia Seas (Antarctica) // U.S. Geological Survey and The National Academies. 2007. P. 1047–1–1047–5.
17. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic D18O records // Paleooceanography. 2005. V. 20. PA1003. P. 1–17.
18. Lobo F., Hernández-Molina F.J., Bohoyo F. et al. Furrows in the southern Scan Basin, Antarctica: interplay between tectonic and oceanographic influences // Geo-Mar Lett. 2011. V. 31. P. 451–464.
19. Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F. et al. Contourite deposits in the central Scotia Sea: the importance of the Antarctic Circumpolar Current and the Weddell Gyre flows // Palaeogeography, Palaeoecology. 2003. V. 198. P. 187–221.
20. Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F. et al. Miocene to Recent contourite drifts development in northern Weddell Sea (Antarctica) // Glob. Planet. Change. 2005. V. 45. P. 99–129.
21. Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J. et al. Ocean basins near the Scotia-Antarctic plate boundary: Influence of tectonics and paleoceanography on Cenozoic deposits // Mar. Geoph. Res. 2006. V. 27. P. 83–107.
22. Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J. et al. A model of oceanic development by ridge jumping: Opening of the Scotia sea. // Glob. Planet. Change. 2014. V. 122. P. 152–173.
23. Pistolato M., Quaiá T., Marinoni L. et al. Grain Size, Mineralogy and Geochemistry in Late Quaternary Sediments from the Western Ross Sea outer Slope as Proxies for Climate Changes // Antarctica: Contributions to global earth sciences. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006. P. 423–432.
24. Ruano P., Bohoyo F., Galindo – Zaldivar J. et al. Mass transport processes in the southern Scotia Sea: evidence of paleoearthquakes // Glob. Planet. Change. 2014. V. 123. P. 374–391.
25. www.lorraine-lisiecki.com/LR04_MISboundaries.txt. 2016
26. Weber M. Late Quaternary sedimentation at the continental margin of the southeastern Weddell Sea // Ber.Polarforsch. 1992. № 109. 165 p.
27. Weber M.E., Bonani G., Fütterer K.D. Sedimentation processes within channel-ridge systems, southeastern Weddell Sea, Antarctica // Paleooceanography. 1994. V. 9. № 6. P. 1027–1048.
28. Weber M.E., Kuhn G., Spreng D. et al. Dust transport from Patagonia to Antarctica – A new stratigraphic approach from the Scotia Sea and its implications for the last glacial cycle // Quaternary Science Reviews. 2012. V. 36. P. 177–188.

Vertical Structure Surface Precipitation in Central Depression of Scan and Yaghan (Scotia Sea)

Al. A. Schreider, A. A. Schreider, A. E. Sazhneva, J. Galindo-Zaldivar, P. Ruano, A. Maldonado, Y. Martos-Martin, F. Lobo

The structure of the sedimentary layer of the Scotia Sea is the basis for the restoration of the geo-logical history of the development of its bottom in the Late Quaternary. One of the most important elements of the bottom of the south of the Scotia Sea is a basin Scan. Formation Scan depression played a significant role in the fragmentation of the American-Antarctic continental bridge, uniting banks Bruce and Discovery. To date, it managed to restore the basic parameters of the sedimentary sequence Scan depression, but the uppermost part of the section is not reflected in the literature due to lack of data. With the help of high-resolution seismoprofilografa TOPAS PS 18/40 on the monitoring of NIS profile "Gesperidas" three layers stand out in the central part of the basin. The total average power of the first reflector was 3.7 ms, the second – 2.3 ms, the third – 1.8 ms. The layers are relatively thick and weathered clearly traced along the profile. Accounting literature data on sedimentation parameters allows us to estimate the cumulative average time deposits on the profile of the first layer to 133 thousand years, the second – 84 thousand years old, the third – 64 thousand years, and the total cumulative average time accumulation of sedimentary material all three layers on profile is 281 thousand years.