

УДК 551.465.5 : 352(261)

**НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О ДОСТАВКЕ ОСАДОЧНОГО  
МАТЕРИАЛА ПРИДОННЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ ПО ПОДВОДНЫМ  
КАНЬОНАМ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА****Б. Н. Котенев**

В современную эпоху зона наиболее интенсивного осадконакопления в океане приурочена к нижней части материкового склона (глубже 1000—1500 м) и материковому подножию. В Атлантическом океане ее площадь составляет 13—14 млн. км<sup>2</sup>, если не учитывать склон и подножие у Антарктиды. Если в среднем для нее характерны темпы накопления осадков в 5 см за 1000 лет, то ежегодное поступление осадочного материала в эту часть океана составит  $7 \times 10^8$  т.

В последние годы почти повсеместно в Атлантическом океане в придонной толще вод мощностью от 200—300 м до 1 км, над дном обнаружен нефелоидный слой, в котором содержание взвесей почти в два раза выше, чем в поверхностных водах открытого океана и составляет в среднем 0,1 мг/л. Наиболее отчетливо слой выражен над нижней частью склона и над подножием (Лонгинов, 1973; Eittröm, Ewing, 1972; Jacobs Ewing 1969). Если принять мощность нефелоидного слоя над зоной интенсивного осадконакопления около 1 км, а среднее содержание взвеси 0,1 мг/л, то общее количество взвеси в слое составит  $14 \times 10^8$  т. Хотя эта величина сугубо ориентировочна, тем не менее ее сходство с количеством осаждаемого на дне осадка, показывает, что нефелоидный слой существует за счет постоянного поступления осадочного материала с суши и из вод океана. Наиболее мощными его источниками являются: высокоскоростные мутьевые потоки (Eittröm, Ewing, 1972), низкоплотностные и низкоскоростные мутьевые потоки (Stanley, 1970; Lyall et al., 1971), глубинные течения из полярных районов (Jones et al., 1970), придонные течения в каньонах склона (Шепард, Дилл, 1972; Леонтьев, Сафьянов, 1973, Baker, 1973; Drake, Gorsline, 1973; Keller, Lambert, Row, 1973; Plank et al., 1974; Stanley, Kelling, 1969; Shepard and Marshall, 1973; Shepard et al., 1974 а, б).

Основная цель данной работы — выяснить роль придонных течений в каньонах склона Атлантического океана в процессах поступления взвеси из мелководной зоны океана на глубины более 1000 м.

Подводные каньоны — крупнейшие отрицательные формы рельефа на материковом склоне океана (Шепард, Дилл, 1972; Леонтьев, Сафьянов, 1973). Как показали исследования динамики вод в каньонах в различных регионах Мирового океана, их четкая выраженность в современном рельефе дна склона во многом является результатом интенсивных придонных течений (Шепард, Дилл, 1972; Gennes *seaux*

et. al., 1971; Kelling, Stanley, 1970; Lyall et. al., 1971; Ross, 1968; Rona, 1970 и др.). Лучшее всего эти течения исследованы у Тихоокеанского побережья США.

Так, в каньонах у Калифорнии в придонной толще вод мощностью не более 20—25 м обнаружены знакопеременные течения со скоростями не ниже 2—5 см/с, а в среднем около 20—30 см/с (Shepard, Marshall, 1973; Shepard et. al., 1974 а, б). Максимальные скорости течений достигают 170 см/с. При маловетрии (до 3—4 баллов) направление течения совпадает с осью каньонов, при штормовых погодных условиях

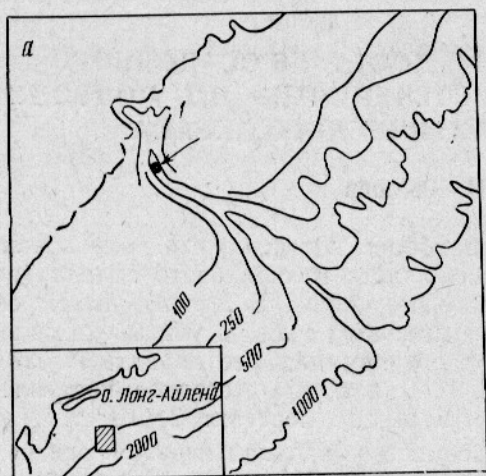
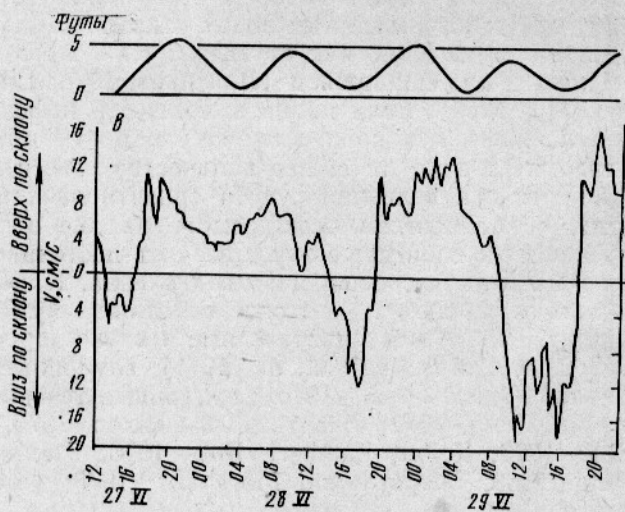


Рис. 1. Знакопеременные придонные течения в каньоне Гудзон, измеренные автоматическим измерителем течений на глубине 471 м (Keller et al., 1973):

*a* — батиметрическая схема каньона; *б* — приливы для времени наблюдения за течениями, записанные на береговой станции Санди-Хук, Нью-Джерси; *в* — скорости течений в каньоне. Стрелкой указано положение измерителя течений.

б



наблюдались течения вкрест оси каньона. Продольные течения были направлены то вверх, то вниз по каньону. Однако в целом преобладали течения вниз по каньону, часто с максимальными значениями скорости. Периоды пульсации (смены знака течений) варьируют от 20—30 мин до 12—14 ч. Короткопериодные пульсации связывают с воздействием внутренних волн (они отмечены близ шельфа), длиннопериодные — с влиянием приливов. Приливный характер течений в каньоне Гудзон (Атлантическое побережье США) показан на рис. 1.

В каньонах Калифорнии удалось обнаружить аналогичные течения и на 28—30 м от дна, но они были направлены в обратную сторону по сравнению с придонными течениями (Shepard et al., 1974 a). Не исключено, что в водной толще каньонов существует как бы слоеный пирог таких течений.

В каньоне Астория (Тихоокеанское побережье США) было обнаружено, что усиление скорости придонных течений связано с сильными штормами. Однако это усиление сказывается лишь в верхней части склона до 1000 м глубины (Plank et al., 1974).

Вопрос о том, до каких глубин склона прослеживаются в каньонах течения в придонной части, не может быть решен по имеющимся данным (Isaacs et al., 1966). Однако если проанализировать материалы по распределению осадков в каньонах, фотографии дна, визуальные наблюдения из подводных аппаратов (Шепард, Дилл, 1972; Andrews, 1970; Andrews et al., 1970; Heezen, and Hollister, 1971; Ross, 1968; Stanley and Kelling, 1969; Stanley et al., 1973), то можно прийти к выводу, что чем круче склон, в который врезан каньон, тем при прочих равных условиях (погодных, стратификации водных масс и др.) до больших глубин будут прослеживаться такие течения. Так, в Большом Багамском каньоне, который врезан в очень крутой склон ( $>10^\circ$ ), весьма интенсивные течения прослеживаются на дне каньона до подошвы склона (Andrews, 1970; Andrews et al., 1970). В каньоне Корсар (Атлантическое побережье США), который прорезает склон крутизной в  $3^\circ$ , следы течений на дне каньона зафиксированы при спуске аппарата «Алвин» до 1600 м (Ross, 1969). В каньоне Уилмингтон пески и алевриты выстилают дно каньона до 1000-метровой изобаты, однако повышенная обогащенность осадков каньона алевритом по сравнению с окружающими участками склона прослеживается до материкового подножия (Stanley, Kelling, 1969). В каньоне Гулли пески и алевриты прослежены почти до подножия (Stanley et al., 1973).

Для вычисления объема воды, перемещаемого нисходящими течениями в каньонах Атлантического океана, недостаточно материалов, но мы все же предприняли попытку хотя бы весьма ориентировочно оценить придонный сток воды вниз по каньонам до глубин 1000—1500 м. При этом возникли следующие, не всегда однозначно решаемые вопросы. Не был известен минимальный размер каньонов, в которых возникают придонные течения в его тальвеге. Исходя из размеров верховьев калифорнийских каньонов, мы предполагаем, что любое понижение дна с относительной глубиной более 250 м может обуславливать возникновение придонных течений. При подсчете таких каньонов на материковом склоне Атлантического океана на отдельные районы данных не оказалось и пришлось давать оценку числа каньонов на основе общих представлений о расчлененности того или иного участка. С этими оговорками общее количество каньонов Атлантического океана с глубиной вреза более 250 м было оценено в 400—420 м (рис. 2).

Пока неясно, какую ширину дна в каньонах занимают придонные течения. Там, где борта каньонов отчетливо выражены, ширину определить довольно легко, но во многих пологосклонных каньонах в нижней тальвеговой зоне трудно четко отделить дно от склонов. При подсчетах нами взята ширина дна каньонов в 1 км.

Высота придонного слоя, охваченного течением, нами принята за 20 м. Хотя визуальные наблюдения за дном каньонов (Andrews et al., 1970; Ross, 1968) и данные, полученные инструментально (Plank et al., 1974), показывают, что мощность этого слоя может достигать со-



тен метров. Так, в каньоне Астория (Тихоокеанское побережье США) мощность придонного слоя с повышенным содержанием взвеси достигает 200 м (Plank et al., 1974).

С учетом течений, направленных вкост оси каньонов, общая продолжительность нисходящих течений нами принята как 10—12 ч в сутки при средней скорости 20 см/с.

За исключением ширины каньонов, все остальные исходные данные взяты ниже тех значений, которых они достигают чаще всего. Поэтому полученную величину стока придонных вод по каньонам за год с внешнего края шельфа до 1000 м можно рассматривать как минимальную \* 22000 км<sup>3</sup>.

Данных о содержании взвеси в придонных водах каньонов именно в тальвеге сравнительно мало, причем в большинстве случаев работы были проведены в Тихом океане (Baker, 1973; Drake, Gorsline, 1973; Plank et al., 1974) и лишь в небольшом количестве в Атлантическом. Так, наиболее репрезентативные материалы о взвеси, собранной 140-литровыми батометрами, были получены в каньоне Уилмингтон. Однако ни одна из проб не была взята из тальвега каньона (Lyall et al., 1971). Поэтому они могут быть использованы лишь для оценки порядка величин взвеси в придонных слоях вод в каньонах. Если на внешнем крае шельфа в районе каньона Уилмингтон количество взвеси изменялось от 0,234 до 0,386 мг/л, то в придонных водах каньона (но не в самом тальвеге) оно варьировало в более широком диапазоне от 0,127—0,134 до 0,383—0,835 мг/л. Это указывает не только на процессы концентрации взвеси в каньоне, но и на процессы ее рассеяния, растворения или осаждения уже в верхней части склона. Если на



Рис. 2. Схема размещения каньонов по отдельным районам Атлантического океана. Цифрами дано приблизительное количество каньонов в верхней части склона, глубина вреза которых более 250 м.

внешнем крае шельфа у каньона Уилмингтон содержание органического вещества во взвеси достигало 60%, то в каньоне преобладала неорганическая взвесь, возможно, в результате распада органического вещества. Вообще, довольно низкое содержание взвешенного органического вещества в районе каньона и на внешнем крае шельфа можно объяснить, с одной стороны, тем, что сборы проводились в декабре, когда фотосинтез был слабый, а с другой, — повышенной динамикой вод из-за погодных условий, усиливающей и эрозию дна.

Визуальные наблюдения из аппарата «Алвин» в тальвеге каньона Гудзон в июне—сентябре показали, что в зоне максимальной аккумуля-

\* Этот сток в семь раз больше стока р. Амазонки.

ляции органогенного слабосвязанного осадка на 400—1000 м, где скорости придонного течения были 20—27 см/с, видимость в четырехметровом слое над грунтом была почти нулевой. Это говорит о необычайно высокой концентрации осадочного материала у дна каньона, видимо, в основном органики. Это подтверждается наблюдениями в каньоне. Г. Келлер и другие (Keller et al., 1973) отмечают, что содержание органического детрита в каньоне Гудзон выше, чем где-либо в Северной Атлантике.

Интересные данные о временной изменчивости в содержании взвеси были получены для каньона Астория (Plank et al., 1973), в котором выделяются две зоны по характеру изменения количества взвешенного вещества. В верхней части склона до 1000 м, содержание взвеси в водах каньона подвержено большим изменениям во времени, тесно связанным с погодными условиями. Глубже 1000 м такие вариации незначительны.

Поскольку данных о концентрациях взвеси в водах каньонов недостаточно для суждения о вероятном количестве взвеси в каньонах, можно использовать результаты изучения вертикального распределения взвеси над склоном Атлантического океана. А. П. Лисицын (1974) показал, что на склоне средние концентрации взвеси в водной толще, как правило, не менее 2—1 мг/л. В некоторых районах, например у Гренландии, количество взвеси более 2 мг/л.

Таким образом, если мы примем, что минимальные концентрации взвеси в нисходящих придонных водах каньонов всего 1 мг/л, то общее количество взвеси, перемещаемое придонными течениями в каньонах, за год составит  $2,2 \times 10^7$  т. Это около 6% того материала, который ежегодно осаждается в пределах нижней части склона и на материковом подножии. Если же принять более реальные значения концентрации взвеси в придонном слое каньонов, какие наблюдались, например, в каньоне Редондо (Леонтьев, Сафьянов, 1973) у Калифорнии (3—5 мг/л), а также учесть районы повышенного поступления осадочного материала (Конго, Амазонка и др.), то количество материала, переносимого придонными течениями, составит не менее 20—25% от материала, осаждаемого ежегодно в нижней части склона и на подножии.

### Выводы

1. Придонные течения в каньонах материкового склона Атлантического океана являются важным фактором в доставке осадочного материала в глубоководную зону океана. Поскольку скорости придонных течений достигают 20—30 см/с и более (до 170 см/с), то осадочный взвешенный материал, переносимый водами этих течений может за короткий период (менее суток или около суток) транспортироваться от внешнего края шельфа до глубин 1000 м и более. По крайней мере 50% взвеси имеет органическое происхождение. Поэтому этот вид скоростной доставки органики имеет большое значение для развития глубоководного бентоса и придонной фауны.

2. Проведенные исследования позволяют сформулировать первоочередные задачи, изучение которых необходимо как для понимания процессов глубоководного осадконакопления:

а) выяснение роли рельефа склона (крутизны, расчлененности, конфигурации) в динамике вод в тальвеговой зоне в зависимости от преобладающих погодных условий того или иного региона;

б) выявление минимальной амплитуды отрицательных форм рельефа, при которых возникают знакопеременные течения на склоне;

в) выяснение максимально возможной толщины слоя, охваченного придонными течениями, и ее зависимость от морфологии дна путем детальных съемок рельефа дна, грунтов, фотографирования дна и визуальных наблюдений в каньонах;

г) изучение временной изменчивости и оценка баланса осадочного материала различного генезиса при помощи длительных наблюдений за содержанием взвеси в водной толще каньонов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Леонтьев О. К., Сафьянов Г. А. Каньоны под морем. М., «Мысль», 1973. 262 с.
- Лисицын А. П. Осадкообразование в океанах. М., «Наука», 1974, с. 438.
- Лонгинов В. В. Очерки литодинамики океана. М., «Наука», 1973. 244 с.
- Шепард Ф., Дилл Р. Подводные морские каньоны. Л., Гидрометеоздт, 1972, с. 344.
- Andrews J. E. Structure and Sedimentary development of the Outer channel of the Great Bahama canyon. Bull. Geol. Soc. America, 1970, vol. 81, N 1, p. 217—225.
- Andrews J. E. et al. Great Bahama Canyon Bull Geol. Soc. America, 1970, vol. 81, N 4, p. 1061—1078.
- Baker E. I. Distribution and— Composition of Suspended sediment in the Bottom waters of Washington Continental shelf and slope. Journal of Sedimentary Petrology, 1973, vol. 43, N 3.
- Drake D. E., Gorsline D. S. Distribution and transport of suspended particulate matter in Hyeneme, Redondo, Newport, and La-Jolla submarine canyons, California. Bull. Geol. Soc. America, 1973, vol. 84, N 12, p. 3949—3968.
- Eittrheim S. and Ewing M. Suspended particulate matter in the deep water of the North American Basin. Studies in Physical Oceanography, 1972, vol. 2, N 4, p. 123—167.
- Genesseeaux M., Guibout P., and Lacombe H., Enregistrement de courants deturbidite dans la vallee sous marine du Var (Alpes—Maritime) Comptendu hebdomadaire des Seances de l. Academie des Sciences, Paris, 1971, vol. 273, p. 2456—2459.
- Heezen B. C., and Hollister C. D. The face of the deep. New-Yorke—Oxford university press, 1971, 659 p.
- Isaacs J. D., Reid J. L., Schink G. D. and Schwetzloze R. A. Near bottom currents measured in 4 km depth off the Baja California Coast. Journ. of Geophys. Res., 1966, vol. 71, N 18, p. 4297—4303.
- Jacobs M. B. and Ewing M. Suspended particulate matter. Concentration in the major oceans. Science, 1969, vol. 163, N 3865, p. 330—333.
- Influences of Norwegian Sea overflow water on sedimentation in the northern north Atlantic and Labrador Sea. J. Geophys. Res., 1970, vol. 75, N 9, p. 1655—1680. Jones F. J. W., Ewing M., Ewing J. L. and Eittrheim S. L.
- Bottom currents in the Hudson Canyon. Science.—973, vol. 180, N 4082, p. 181—183. Keller G. H., Lambert D., Rowe G., Sraresinic N.
- Kelling J. Stanley D. Morphology and structure of Wilmington and Baltimore submarine canyons Eastern U. S. Journ. of Geol., 1970, vol. 78, N 5, p. 637—660.
- Lyall A. K. Stanley D. J., Giles H. N. and Fisher A. Jr. Suspended sediment transport at the shelf Break and on the slope. Wilmington Canyon area, Eastern USA Marine technology society Journ. 1971, v l. 5, N 1.
- Riank W. S. Zaneveld J. R. V. and Pak Hasong. Temporal variability of suspended matter in Astoria Canyon. Journ. Geoph. Res. 1974. vol. 79, N 30, p. 4536—4541.
- Pona P. A. Submarine canyon origin on upper continental slope off Cape Hatteras J. Geol., vol. 78, N 2, 1970, p. 141—152.
- Ross D. A. Current Action in a Submarine Canyon. Nature. vol. 218, N 5148, 1968.
- Shepard F. P. and Marshall N. F. Storm generated current in La—Jolla Submarine Canyon, California, Marine geology vol. 15, N 1, 1973, p. M19—M24.
- Shepard F. P., Marshall N. F. and Mc. Loughlin. Currents in submarine canyons. Deep. Sea Res. vol. 21, N 9, 1974 (a), p. 691—706.
- Shepard F. P., Marshall N. F., and McLoughlin. Internal waves advancing along submarine canyons. Science. vol. 183, N 4121, 1984 (b), p. 195—198.
- Stanley D. J. and Kelling G. Photographic investigation of sediment texture, bottom current activity and benthonic organisms in the Wilmington submarine canyon U. S. Coast Guardt Oceanogr rept, 22, 1969, p. 95.



Stanley D. J. Flyscoid sedimentation on the outer continental margin off Northeast North America in Lajoie J. Ed. Flysh sedimentation in North Am., Geol. Assoc. Canada Sp. Pap. 7. 1970, p. 179—210.

Recent sand spill—over off Sable Island Bank, Scotian shelf. Pap. Geol. Surv. Can. N 71—23. 1973, p. 167—194. Stanley D. J., Swift D. J. P., Silverberg N., James N. P. Sutton R. J.

*Some data on delivery of sedimentary material by bottom currents along underwater canyons in the Atlantic*

B. N. Kotenev

SUMMARY

An attempt is made to estimate the amount of sedimentary material delivered by currents along underwater canyons to the deep-water area of the Atlantic. It is estimated that it ranges from 6 to 25% from the total sedimentary material which comes to the lower part of the continental slope and continental rise in the ocean. The bulk of the sedimentary material is of organic origin and affects the development of deep-water benthos and near-bottom ichthyofauna. Further investigation of currents in canyons is required to understand the sedimentation process.