

УДК 911.9

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТБОРА КОЛОНОК СЛАБОКОНСОЛИДИРОВАННОГО ДОННОГО ОСАДКА

© 2019 г. Е. А. Константинов

*Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: eakonst@igras.ru*

Поступила в редакцию 02.09.2018 г.

После доработки 24.01.2019 г.

Принята к публикации 05.02.2019 г.

Предложена технология отбора колонок слабоконсолидированного донного осадка, включающая в себя буровую систему и способ ее эксплуатации. В основе предлагаемой технологии лежит ряд оригинальных решений: 1) унификация элементов буровой колонны, где в качестве как пробоотборника, так и штанг используются бытовые трубы из ПВХ; 2) использование клапанного механизма простой конусной конструкции; 3) методика вертикального замораживания керна на открытом воздухе. Буровая система позволяет выполнять отбор колонок придонного ила зимой со льда при глубине водоема до 7–10 м. Полевые испытания показали, что предлагаемая система является недорогой, простой в сборке и эксплуатации, но в то же время весьма эффективной и надежной. Она может служить альтернативой или дополнением по отношению к существующим системам отбора колонок донных осадков.

Ключевые слова: донный осадок, субрецентный ил, буровой керн, система отбора осадочных колонок

DOI: 10.31857/S0030-1574595875-880

ВВЕДЕНИЕ

При изучении донных отложений мелководных лагун, прудов и озер регулярно встает задача отбора ненарушенной колонки отложений. Особую сложность составляет отбор верхней (придонной) части осадка, представленной слабоконсолидированным илом. Такой осадок практически не держит структуру — растекается и перемешивается при малейшем воздействии со стороны пробоотборников и манипуляциях во время транспортировки (наклонах, встряхиваниях). При этом именно верхняя часть осадка представляет особый интерес при седиментологических и радиоизотопных исследованиях. В частности, анализ распределения радионуклидов в осадке позволяет производить оценку скорости осадконакопления, определять темпы эрозии на водосборе, источники поступления материала, степень радиоактивного заражения территории [2, 3, 8]. Также существует целый комплекс палеогеографических задач, при решении которых пропуск верхней части осадка означает потерю субрецентной части палеоархива.

Большинство систем отбора донных отложений — «Русский бур», бур Гиллера, бур Несье

[14], поршневой бур Ливингстона и его модификации [23], грунтовые трубки [1] — не позволяют получать сохранные колонки придонной части осадка. Одним из самых распространенных способов решения такой задачи является использование поршневых трубок [4, 6, 7, 13, 24], которые опускаются на дно при помощи штанг или троса. В таких системах трубка обычно выполнена из оргстекла или других прозрачных полимеров. Она играет роль пробоотборника, который под нагрузкой сверху внедряется в толщу осадка, в то время как поршень неподвижно зафиксирован над дном. Водонасыщенный осадок удерживается в трубке за счет разреженного давления под поршнем. Отбор проб из трубки может осуществляться путем дозированного выдавливания керна поршнем. Другим вариантом отбора проб является заморозка материала в трубке, после чего замороженный керн распиливается на образцы [21]. Еще одной модификацией данной системы является гелификация осадка с использованием химических реагентов. К таким относится, например, сорбит (сорбитол), обеспечивающий загустевание водонасыщенного осадка [7].

Родственной по отношению к поршневой системе являются технологии Kajak-corer [5, 9]

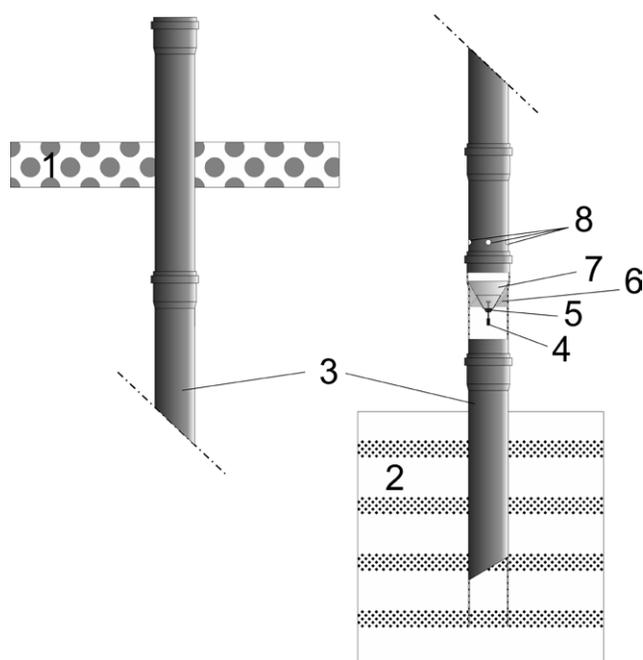


Рис. 1. Устройство буровой системы. 1 — лед, 2 — донный осадок, 3 — труба ПВХ ($d = 75$ мм), 4 — металлический груз, 5 — силиконовый конус, 6 — силиконовый герметик, 7 — пластиковая воронка, 8 — отверстия (4 шт., $d = 7-10$ мм).

и HON-Kajak corer [17]. При отборе колонки вместо поршня здесь используется специальный замок-клапан, контролируемый с поверхности тросом.

Оригинальным и эффективным решением отбора проб донного осадка является система «Limnos sediment sampler» [10, 25]. Она позволяет получать ненарушенные короткие (до 1 м) керны приповерхностных донных отложений и отбирать придонную воду и осадок с шагом 1 см в незамороженном состоянии. Это достигается за счет того, что пробоотборная пластиковая прозрачная трубка состоит из отдельных сегментов — колец высотой 1 см. После того как был поднят керн, последовательно сверху вниз горизонтальным смещением удаляется каждое кольцо. Образец выпадает из кольца в специально подготовленный лоток.

Весьма успешно решают задачу отбора слабokonсолидированного ила методики шоковой заморозки донного осадка при помощи хладагентов [11, 12, 15, 16, 18–20, 22, 24]. Чаще всего для таких целей используют жидкий азот или сухой лед (CO_2). Вместе с сухим льдом, как правило, используется катализатор — этанол или метанол [15]. В таких системах осадок намораживается на металлический пробоотборник —

пластину, клин или стержень (зависит от задачи). Пробоотборник погружается в ил и затем в течение 15–30 минут охлаждается изнутри хладагентом.

Все представленные выше системы при своей весьма высокой эффективности имеют общий недостаток. Они весьма сложны в изготовлении (или дороги, если они имеются в продаже) и зачастую требуют специальных навыков и труднодоступных расходных материалов в процессе эксплуатации. В данной работе представлена оригинальная система отбора колонок слабokonсолидированного ила, состоящая из легкодоступных материалов, простая в сборке и эксплуатации.

Устройство буровой системы. Буровая система (рис. 1) состоит из последовательно соединенных стандартных канализационных труб из ПВХ (поливинилхлорид) диаметром 75 мм, имеющих переменную длину¹. Нижняя труба длиной 2 м играет роль пробоотборника. Выше размещается короткая труба (0.5 м), вмещающая клапан, который состоит из двух элементов: 1) пластиковой воронки, жестко закрепленной в трубе при помощи силиконового герметика; 2) конуса, отлитого из силикона по форме воронки и имеющего утяжелитель, который выполнен из длинного болта со свинцовым грузом на конце. Третья снизу труба также короткая (0.5 м). Примерно в 10–15 см от нижнего края она имеет 4 отверстия диаметром 7–10 мм, расположенных на одном уровне с угловым шагом 90°. Через эти отверстия происходит слив воды из вышерасположенных труб в ходе подъема буровой колонны. Также эти отверстия используются для фиксации тросов в процессе замораживания керна. Раструбы у вышеуказанных труб должны быть снабжены штатными резиновыми уплотнителями. Особое внимание уделяется нижнему соединению, которое должно быть строго герметично для правильной работы клапана.

Трубы, расположенные выше, играют роль штанг, количество которых зависит от глубины водоема. Резиновые уплотнители у этих труб могут быть удалены с целью облегчения операций по сборке и разборке. Каждое соедине-

¹ Экспериментально установлено, что диаметр трубы 75 мм является оптимальным. При диаметре трубы 110 мм керн плохо держится в пробоотборнике и часто выпадает при подъеме буровой колонны. При диаметре трубы 50 мм керн сильно деформируется.

ние труб дополнительно укрепляется армированным скотчем для предотвращения обрыва колонны.

Технология бурения, заморозки керна и отбора проб. Буровые работы выполняются зимой со льда при отрицательных температурах воздуха (оптимально — от -5 до -15°C). Работа начинается с промеров глубин лотом на исследуемом участке. Далее рассчитывается общая длина колонны (количество штанг) и выполняется засечка уровня дна маркером на верхней трубе. Оценивается размах рабочего хода (глубина проходки по осадку) и выполняется вторая засечка на верхней трубе, ограничивающая проходку. При длине отборника 2 м рабочий ход составляет обычно 1.3–1.6 м. Проходку на всю длину отборника лучше не выполнять, т. к. существует риск деформации верхней части осадка. Вместе с этим важно выполнять проходку до заглубления в более плотный слой осадка, материал из которого должен затампонировать

нижнюю часть отборника и уменьшить вероятность вытекания керна при подъеме буровой колонны.

На этапе (а) (рис. 2) происходит последовательное наращивание труб с фиксацией соединений армированным скотчем и опускание буровой колонны на дно водоема. Бур плавно (без рывков) вдавливают в илистое дно до засечки, фиксирующей размах рабочего хода.

На этапе (б) происходит закрытие клапана. Внутри буровой колонны опускается силиконовый конус, который свободно падает под весом свинцового утяжелителя и встает на посадочное место — в пластиковую воронку. Тем самым пробоотборник изолируется от верхней части колонны, что и предотвращает вытекание керна в ходе подъема системы на поверхность. Герметичность клапана достигается за счет пластичных свойств силикона, из которого изготовлен конус, и разреженного давления под клапаном, возникающем в процессе

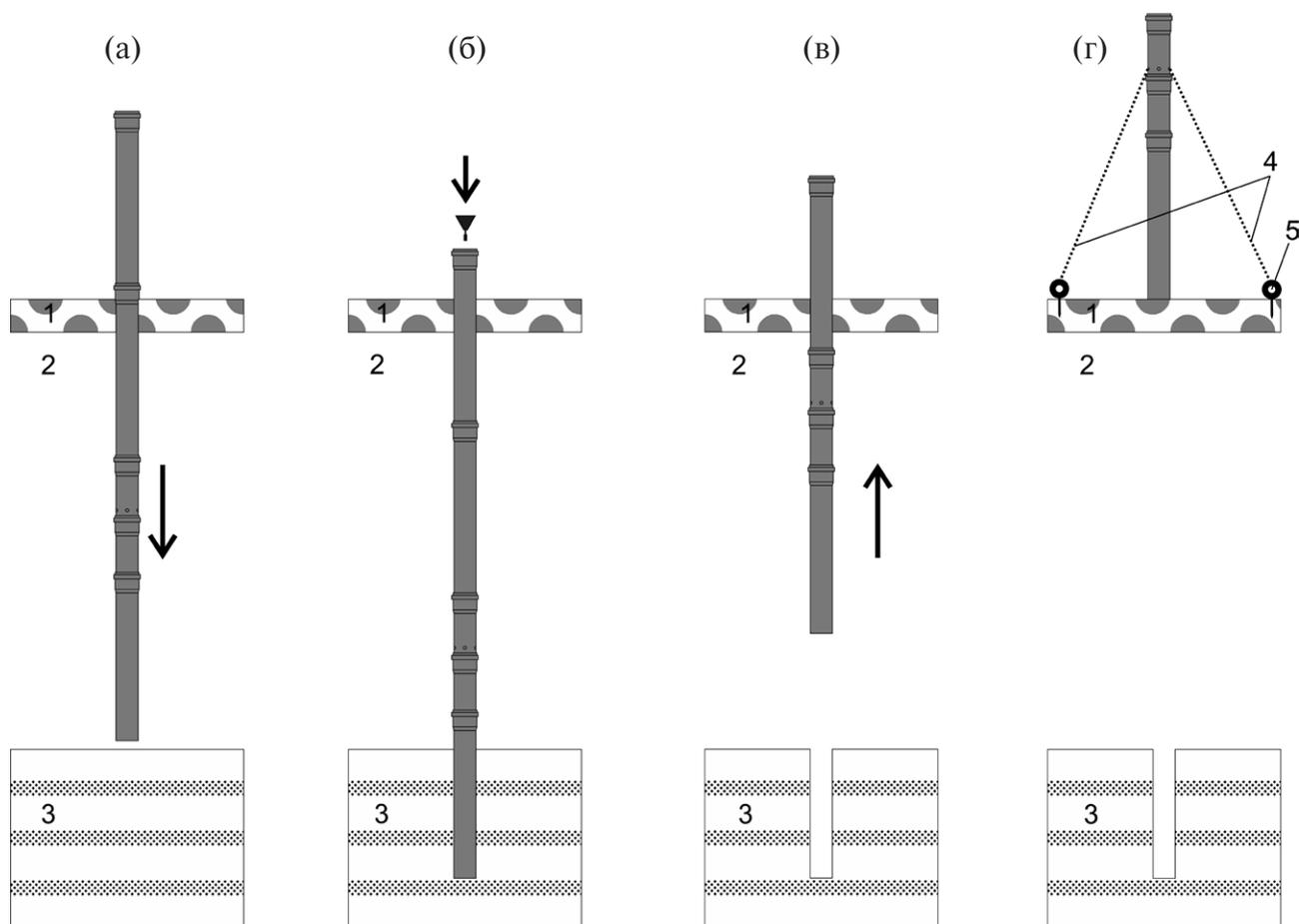


Рис. 2. Технология бурения. (а) — Задавливание отборника в донный осадок; (б) — закрытие клапана: сброс конуса внутрь колонны из труб; (в) — подъем колонны; (г) — фиксация пробоотборника в вертикальном положении на льду при помощи тросов, замораживание керна. 1 — лед, 2 — вода, 3 — донный осадок, 4 — трос, 5 — ввертыш (шуруп с крючком).



Рис. 3. Замораживание керна в вертикальном положении на льду озера Селигер. Фото автора.



Рис. 4. Замороженные керны придонного осадка. (а) — Щекинское водохранилище, (б) — озеро Селигер. Фото автора.

отрыва керна на этапе (в). При подъеме колонны верхние трубы, играющие роль штанг, последовательно удаляются.

Этап (г) заключается в фиксации трех нижних колен буровой колонны в вертикальном положении на льду и замораживании керна на естественном морозе (рис. 3). Для фиксации конструкции ледобуром готовится несквозная лунка во льду глубиной около 10 см, куда своей нижней частью устанавливается пробоотборник. Четыре троса крепятся к третьему колену (трубе с отверстиями). Другие концы тросов крепятся ко льду при помощи рыбацких ввертышей. Вместо ввертышей допускается использование строительных шурупов с крюками. Конструкция должна быть закреплена максимально жестко, чтобы ее не раскачивал ветер.

В зависимости от температуры и силы ветра скорость заморозки керна может варьировать от одного часа до шести–восьми часов. На данном этапе может проявиться один из главных недостатков системы — деформация керна, связанная с ростом ледяных шлиров. Особенно этот эффект может сказаться при медленном замораживании на слабом морозе. Однако, т. к. керн располагается вертикально, деформации развиваются преимущественно по латерали — от стенок пробоотборника к его центру, т.е. даже при нарушении структуры керна вертикального перемешивания материала не происходит.

После того как керн замерз, вся конструкция транспортируется в лабораторию, где керн извлекается из трубы и разделяется на образцы. Для извлечения керна пробоотборник следует поместить в вертикальном положении на 1–1.5 часа в условия комнатной температуры. Нижнюю часть пробоотборника лучше установить в ведро для предотвращения протекания грязной воды. Керн будет постепенно подтаивать, начиная с краев (от стенок трубы). Тем самым сцепление с трубой постепенно ослабевает и керн под собственным весом легко «выходит» из пробоотборника. Следует избегать неравномерного нагревания пробоотборника, которое может быть вызвано близостью к источникам тепла. После извлечения керн может быть разделен на образцы. Для распиливания керна хорошо подходит лобзик (ручной или электрический), а также ручная ножовка по металлу.

Представленная технология отбора была опробована зимой 2018 г. (рис. 4) на Весецком

плесе озера Селигер (Тверская область), Щекинском водохранилище (Тульская область) и Плещеевом озере (Ярославская область). В первом случае глубина водоема на участке работ составляла 2.5 м, во втором — 3 м, в третьем — 7 м. По сравнению с новой системой потеря верхней части колонки при бурении поршневым буром Ливингстона составила: на озере Селигер — 0.3 м, на Щекинском водохранилище — 0.45 м. На Плещеевом озере ввиду песчанистого состава донного осадка произвести отбор керна новой системой не удалось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главными достоинствами предлагаемой технологии являются простота конструкции буровой системы, а также доступность и невысокая стоимость ее отдельных компонентов. К недостаткам относится возможная деформация керна при замораживании, связанная с ростом ледяных шпиров. Однако деформации развиваются преимущественно по латерали, практически не влияя на вертикальную последовательность осадка. Кроме того, данный эффект можно свести к минимуму, работая на сильном морозе с ветром, в условиях когда керн замерзает быстро. Еще одним ограничением является глубина водоема. Экспериментально установлено, что система надежно работает при глубинах до 3–4 м. На глубинах около 6–7 м начинают возникать сложности с избыточной плавучестью труб и искривлением буровой колонны в толще воды. При этом работоспособность системы все еще сохраняется. Теоретическим пределом для работы системы является глубина 8–10 м.

В целом, полевые испытания показали, что предлагаемая система является недорогой, простой, но в то же время весьма эффективной и надежной. Она может служить альтернативой или дополнением по отношению к существующим системам отбора колонок слабоконсолидированных донных осадков.

Благодарности. Опытно-конструкторские работы выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-77-00083). Полевые исследования проводились в рамках темы Государственного задания № 0127-2019-0008. Автор благодарен Н. Г. Константиновой за моральную поддержку и критические замечания при подготовке рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Власов Б. П., Давыдова Н. Н., Дружинин Г. В. и др.* Отбор образцов донных отложений // Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения истории озер. (Серия: История озер СССР). Л.: Наука, 1986. С. 73-84.
2. *Иванов М. М.* Геоморфологический подход к изучению радиоактивного загрязнения малых водосборов в пределах осваиваемых равнин // Геоморфология. 2017. № 1. С. 30-45.
3. *Benoit G., Rozan T. F.* 210Pb and 137Cs dating in lakes: a retrospective study // Journal of Paleolimnology. 2001. V. 25. P. 455-465.
4. *Blomqvist S.* Quantitative sampling of soft-bottom sediments: problems and solutions // Marine Ecology Progress Series. 1991. V. 72. P. 295-304.
5. *Brinkhurst R. O., Chua K. E., Batoosingh E.* Modifications in sampling procedures as applied to studies on the bacteria and tubificid oligochaetes inhabiting aquatic sediments // J. of the Fisheries Research Board of Canada. 1969. V. 26. P. 2581-2593.
6. *Davis R. B., Doyle R. W.* A piston corer for upper sediment in lakes // Limnology and Oceanography. 1969. V. 14. P. 643-648.
7. *Glew J. R., Smol J. P., Last W. M.* Sediment Core Collection and Extrusion // Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research. Dordrecht: Springer, 2001. V. 1. P. 73-05.
8. *Goloso V. N., Walling D. E., Konoplev A. V., et al.* Application of bomb- and Chernobyl-derived radiocaesium for reconstructing changes in erosion rates and sediment fluxes from croplands in areas of European Russia with different levels of Chernobyl fallout // J. of Environmental Radioactivity. 2018. V. 186. P. 78-89.
9. *Kajak Z., Kacprzak K., Polkowski R.* Chwytaacz rurowy do pobierania prób dna // Ekologia Polska Seria B. 1965. V. 11. P. 159-165.
10. *Kansanen P. H., Jaakkola T., Kulmala S., Suutarinen R.* Sedimentation and distribution of gamma-emitting radionuclides in bottom sediments of southern Lake Pijanne, Finland, after the Chernobyl accident // Hydrobiologia. 1991. V. 222. P. 121-140.
11. *Kulbe T., Niederreiter R. jr.* Freeze coring of soft surface sediments at a water depth of several hundred meters // J. of Paleolimnology. 2003. V. 29. P. 257-263.
12. *Lotter A. F., Renberg I., Hansson H., et al.* A remote controlled freeze corer for sampling unconsolidated surface sediments // Aquatic Sciences. 1997. V. 59 (4). P. 295-303.
13. *Mackereth F. J. H.* A short core sampler for subaqueous deposits // Limnology and Oceanography. 1969. V. 15. P. 145-151.
14. *Nesje A.* A Piston Corer for Lacustrine and Marine Sediment // Arctic and Alpine Research. 1992. V. 24. №. 3. P. 257-259.
15. *Renberg I., Hansson H.* A pump freeze corer for recent sediments // Limnology and Oceanography. 1993. V. 38(6). P. 1317-1321.
16. *Renberg I.* Improved methods for sampling, photographing and varve-counting of varved lake sediments // Boreas. 1981. V. 10. P. 255-258.

17. *Renberg I.* The HON-Kajak sediment corer // *J. of Paleolimnology*. 1991. V. 6 (2). P. 167-170.
18. *Renberg I., Hansson H.* Freeze corer No. 3 for lake sediments // *J. of Paleolimnology*. 2010. V. 44 (2). P. 731-736.
19. *Shapiro J.* The Core-Freezer — A New Sampler for Lake Sediments // *Ecology*. 1958. V. 39. No. 4. P. 758.
20. *Stocker Z. S., Williams D. D.* A freezing core method for describing the vertical distribution of sediments in a streambed // *Limnology and Oceanography*. 1972. V. 17 (1). P. 136-138.
21. *Strong W. L., Cordes L. D.* A coring method for lake surface sediments // *Canadian J. of Earth Sciences*. 1976. V. 13 (9). P. 1331-1333.
22. *Veerschuren D.* Freeze coring soft sediments in tropical lakes // *J. of Paleolimnology*. 2000. V. 24 (3). P. 361-365.
23. *Wright H. E.* A square-rod piston sampler for lake sediments // *J. of Sedimentary Research*. 1967. V. 37 (3). P. 975-976.
24. *Wright H. E.* Cores of soft lake sediments // *Boreas*. 1980. V. 9. P. 107-114.
25. *Limnos Ltd, Turku, Finland.* [http:// www.limnos.pl/node.php?run=lss](http://www.limnos.pl/node.php?run=lss)

NEW TECHNOLOGY OF CORING FOR BOTTOM SOFT SEDIMENTS

© 2019 E. A. Konstantinov

Institute of Geography RAS, Moscow, Russia
e-mail: eakonst@igras.ru

Received September 02, 2018

Revised version received January 24, 2019

After revision February 05, 2019

A new technology for coring of weakly consolidated sediment is proposed. The technology includes the original coring system and the way it is operated. The technology is based on a number of original solutions: 1) unification of the elements of the drill string, where household pipes made of PVC are used as a sampler and rods; 2) the use of the valve mechanism of a simple conical construction; 3) the method of vertical freezing of the core in open air. The coring system makes it possible to obtain the cores of the bottom sediment in winter from ice at a depth of up to 7–10 meters. Field tests have shown that the proposed system is inexpensive, easy to assemble and operate, but at the same time very effective and reliable. The new system can be as an alternative or complement to existing systems for coring of bottom sediments.

Keywords: bottom sediment, subrecent mud, drilling core, coring system