



## ДИАТОМОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИЗ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ДОЛИНЕ СЕММЕЛЬДАЛЕН (ЗЕМЛЯ НОРДЕНШЕЛЬДА, АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН)

✉ Фомичева Е.Д.<sup>1,2,3</sup>, Соловьева Д.А.<sup>1</sup>, Пушина З.В.<sup>1</sup>, Окунев А.С.<sup>2</sup>, Веркулич С.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ [fom.lissa@gmail.com](mailto:fom.lissa@gmail.com)

Приведены первые результаты диатомового анализа и анализа потери масс при прокаливании четвертичных отложений, вскрытых в среднем течении реки Семмельдален (Земля Норденшельда). Обнаружена бентосная солоноватоводная и пресноводная диатомовая флора. Выделены 4 экозоны, позволяющие охарактеризовать изменения природной среды в исследуемом районе в среднем-позднем голоцене. Изученные диатомовые комплексы позволили выделить этап формирования маршей и переход к пресноводным обстановкам осадконакопления.

Ключевые слова: архипелаг Шпицберген, Земля Норденшельда, четвертичные отложения, голоцен, диатомовый анализ

**Введение.** В ходе полевых работ в 2019 г. Шпицбергенской партии АО «ПМГРЭ» совместно с сотрудниками Российской арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) ААНИИ и отдела геологического картирования ВНИИОкеангеологии был описан разрез четвертичных отложений ВМ19-59 (рис. 1) мощностью 4,3 м, вскрытый в правом борту в среднем течении реки Семмельдален (южная часть Земли Норденшельда) на абсолютной отметке 17 м над уровнем моря.

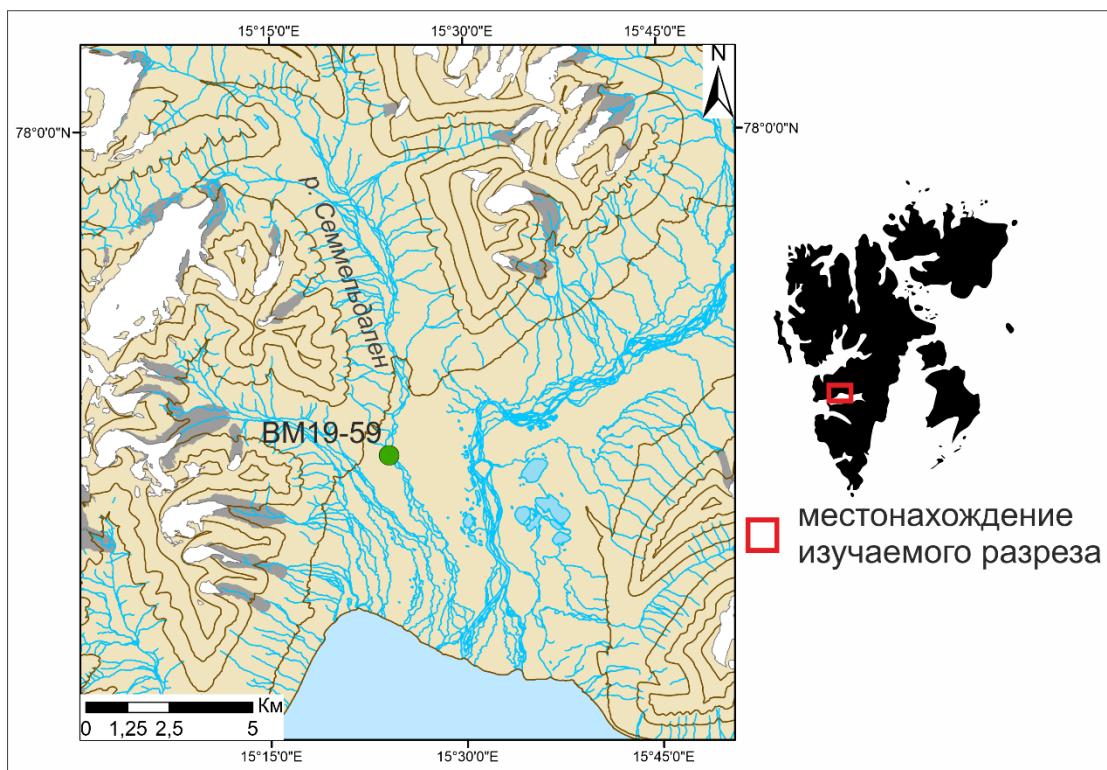


Рис. 1. Расположение разреза ВМ19-59.

**Результаты.** Ранее описанные отложения были изучены методом споро-пыльцевого анализа, получены радиоуглеродные датировки. Для проведения диатомового анализа и

анализа потери масс при прокаливании было отобрано 17 проб через 5-10 см. Створки диатомей обнаружены в 7 из них в интервале глубин 165-55 см. Согласно результатам радиоуглеродного датирования, формирование толщ, содержащих створки диатомовых водорослей, происходило в конце раннего – начале позднего голоцена около 8800-4000 калиброванных лет назад. Четвертичные отложения архипелага Шпицберген ранее изучались методом диатомового анализа, но как правило в осадках озёр, большая часть исследований посвящена изучению современных диатомовых комплексов [Walton, 1922; Foged, 1964; Picińska-Faltynowicz, 1988; Jones, Birks, 2004; Zgrundo et.al., 2016 и др.]. Крайне фрагментарно изучены ископаемые диатомеи из обнажений четвертичных отложений [Полещук, 2019; Соловьева и др., в печати].

#### Результаты и обсуждение

В нижней части (430-165 см) снизу вверх разрез представлен тонкозернистыми песками, алевритами с включением растительных остатков и раковин *Mytilus edulis* (Linnaeus) *in situ*, перекрытыми переслаиванием гравия и гальки. Верхняя часть (165-0 см) сложена массивными алевритами с прослойем гипнового торфа, перекрытыми грубозернистыми песками и гравийниками. Выше по разрезу отмечены алевриты с линзами торфа. Диатомовые водоросли обнаружены в алевритах и торфе. Всего идентифицировано 46 видов диатомовых водорослей, а также цисты золотистых водорослей (Chrysophyta). Пробоподготовка выполнялась по стандартной методике [Диатомовые ..., 1974] в химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш в посёлке Баренцбург. Анализ потери масс при прокаливании проводился по методике, описанной в статье О.Хеири [Heiri et al., 2001].

Анализ потери масс при прокаливании показал относительно небольшое изменение процентного показателя для основного числа образцов (от 5,1% до 9,8%), однако отмечены пики в линзах торфа – в нижней части разреза потеря массы при прокаливании составила 42,2% на отметке глубины 160-150 см, на 50-55 см – 14,8%. В образцах, отобранных в интервалах 165-160 см и 140-130 см, потери масс при прокаливании составили 9,8% и 9,0%, соответственно. На глубине 125-120 см значения снизились до 7,4%. В верхней части разреза, в интервале глубин 70-55 см, значения потери при прокаливании колеблются от 7,8% до 14,8%.

В ходе диатомового анализа на основании изменения видового состава и экологических групп диатомей выделены 4 экозоны.

Экозона IV (165-160 см) характеризуется наибольшим количеством видов – определено 28 таксонов; также отмечены 4 экземпляра цисты Chrysophyta. В процентном соотношении наиболее хорошо представлены донные мезогалобные диатомеи (40% от общего состава комплекса), около 30% комплекса составляют донные галофильные виды, около 30% приходится на донные и единичные эпифитные олигогалобы и галофобы. Преимущественно все обнаруженные виды относятся к космополитам. Комплекс полидоминантный – преобладают алкалифильные мезогалобы *Diploneis interrupta* Cleve (20%), галофил *Navicula cryptocephala* Kützing (17%) и нейтральный по отношению к pH олигогалоб *Pinnularia* aff. *curticostata* Krammer & Lange-Bertalot (20%). К субдоминантным видам относятся – алкалифильные мезогалобные *Caloneis westii* (W. Smith) Hendey (8%), *Navicula digitoradiata* (W. Gregory) Ralfs (7%) и галофил *Navicula rhynchocephala* Kützing (5%). В меньшем процентном отношении (до 2% на таксон) представлены донные олигогалобные и галофобные диатомеи. Вероятно, диатомовые водоросли данной экозоны развивались в условиях маршей, на некотором отдалении от берега, т.к. влияние пресноводных таксонов больше, чем солоноватоводных. Доминанты диатомового комплекса схожи с описанными из маршей, расположенных на южном берегу Адольфбухты Биллифьорда. (архипелаг Шпицберген) [Walton, 1922]. Марши имеют широкое распространение в северных широтах и также отмечаются в настоящее время в районе посёлка Баренцбурга в устьях рек, на побережьях морских заливов и бухт, защищенных от сильной волновой деятельности [Королева, 2016].

На глубинах 160-150 см в образце торфа были отмечены единичные бентосные пресноводные диатомеи, главным образом виды рода *Pinnularia* Ehrenberg (*P. lata* (Brébisson) W. Smith, *P. microstauron* (Ehrenberg) Cleve, *P. aff. spitzbergensis* Cleve, *P. viridis* (Nitzsch) Ehrenberg).

Экозона III (140-130 см) по составу диатомового комплекса аналогична экозоне IV, отличаясь меньшим количеством определенных таксонов – 25; отмечено экземпляров 5 цист *Chrysophyta*. Кроме того, донные мезогалобные диатомеи составляют 70%, в равной степени представлены донные галофильные и олиггалобные диатомеи (по 14% соответственно). Обнаруженные виды преимущественно являются космополитами. Абсолютно доминирует алкалифильный мезогалоб *D. interrupta*, на его долю приходится более 50%. Ему сопутствуют алкалифильный галофил *N. cryptocephala* (10%), алкалифильные мезогалобы *N. digitoradiata* (7%) и *C. westii* (7%). Олиггалобы представлены главным образом донными нейтральными по отношению к рН *P. aff. curticostata* (4%), *P. aff. spitzbergensis* (4%) и алкалифилом *Navicula reinhardii* (Grunow) Grunow (2%). Состав диатомового комплекса отражает формирование отложений в условиях марша, с более значительным влиянием морских вод по сравнению с экозоной IV.

Экозона II (125-120 см) характеризуется пресноводным диатомовым комплексом, состоящим главным образом из эпифитных ацидофильных таксонов (92%). Галофильные диатомеи отсутствуют. Видовое разнообразие наиболее бедное среди выделенных комплексов, отмечено 12 видов диатомей; при этом цисты *Chrysophyta* обнаружены в количестве 29, это наибольшее значение для всего разреза. В данном интервале в диатомовом сообществе выделены 2 доминанты, обе являются эпифитами и предпочитают кислую среду обитания – арктический галофоб *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing (40%) и космополит олиггалоб *Encyonema pausistriata* (Cleve) Mann (31%). Среди субдоминирующих видов выделяется холодолюбивый эпифитный ацидофильный таксон – *Eunotia bidens* Ehrenberg (17%). Остальные виды количественно представлены незначительно, не более 3%. Среди них отмечены как пресноводные эпифитные и донные диатомеи, так и единичные створки донного мезогалоба *D. interrupta*, вероятно, занесенного. Описанный диатомовый комплекс формировался в условиях часто затопляемой заболоченной поймы, либо на её переувлажненной поверхности при низкой минерализации вод. *Tabellaria flocculosa* имеет достаточно широкое распространение среди диатомовой флоры Шпицбергена, предпочитая орошающие скалы, небольшие ручьи, моховые болота, переувлажненные поймы, талые воды [Foged, 1964]. Также на основании преимущественно галофобной группировки диатомей предполагается отсутствие влияние морских вод, что может быть связано с небольшим понижением уровня моря в районе исследования. Кроме того, вероятно климатические условия были наиболее суровые по сравнению с остальными выделенными интервалами.

Экозоне I (70-55 см) соответствуют пресноводные комплексы диатомовых водорослей. В интервале 70-60 см обнаружены малочисленные донные диатомеи рода *Pinnularia* (4 вида), главным образом олиггалоб космополит *Pinnularia viridis*, а также олиггалоб космополит *Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg и 3 эпифитных ацидофильных вида – северные *Eunotia papilio* (Ehrenberg) Grunow и *Cymbopleura tynni* (Krammer) Krammer, космополит *E. bidens*. Отмечены 3 экземпляра цисты *Chrysophyta*. Диатомовые водоросли в интервале 60-55 см отсутствуют.

На отметках 55-50 см сформирован количественно богатый диатомовый комплекс, состоящий преимущественно из донных космополитов, индифферентов по рН (>50%). Общее количество определенных таксонов – 15. Отсутствуют галофильные диатомеи, а также таксоны, предпочитающие щелочную среду. Диатомовая флора характеризуется наибольшей численностью видов, принадлежащих к роду *Pinnularia* (8 видов), в их числе доминирующий олиггалоб космополит *Pinnularia viridis* (48%) и сопутствующий ему арктический *Pinnularia aff. spitzbergensis* (16%). В меньшем количестве представлены

галофобы, индифференты по pH *Pinnularia mircostauron* (5%), *Neidium bisilcatum* (Lagerstedt) Cleve (8%). Наиболее разнообразны в видовом отношении по разрезу болотные эпифитные диатомеи рода *Eunotia* Ehrenberg (4 вида – 8%) – *Eunotia bidens*, *E. papilio*, *E. praerupta* Ehrenberg и *E. sp.* Также среди обрастателей отмечен диатомовый вид *Cymbopleura typnii* (3%). Диатомеи описанной экзоны формировались, вероятно, в условиях холодного, мелкого, пресного водоема с низкой минерализацией, берега которого были заболочены.

**Заключение.** В результате проведенных диатомового анализа и анализа потери масс при прокаливании в отложениях разреза ВМ19-59 в долине реки Семмельдален охарактеризованы интервалы осадконакопления на глубинах 165-55 см. На отметках глубин 165-130 см установлены условия, характерные для маршей, однако в короткий интервал времени, вероятно, происходило отступание моря и следовавшее за этим активное накопление отложений в пресноводных условиях богатых органикой. Далее территория вновь испытывала заболачивание и влияние морских вод. Выше по разрезу (в интервале глубин 125-120 см) солоноватоводные условия сменялись пойменными пресноводными. Осадконакопление происходило в холодных условиях заболоченной, периодически затопляемой поймы с полным исчезновением влияния моря. На отметках глубин 120-100 см обнаружены грубозернистые пески, гравийники – створки диатомей отсутствуют, здесь происходило формирование пролювиально-делювиальных отложений. Выше по разрезу установлены условия формирования отложений в пределах поймы мелкого пресного холодного водоёма.

**Благодарности.** Авторы благодарят сотрудников Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) ФГБУ «ДАНИИ» и сотрудников химико-аналитической лаборатории РАЭ-Ш в пос. Баренцбург за помощь в проведении лабораторных работ.

## ЛИТЕРАТУРА

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т.1. Л.: Наука, 1974. 403 с

Королева Н.Е. Основные типы растительных сообществ «Русского Шпицбергена» // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 7. С. 3–23. doi:10.17076/BG323

Полещук К.В., Пушина З.В., Веркулич С.Р. Голоценовые диатомовые комплексы из отложений Дундербухты, Западный Шпицберген // Вопросы современной альгологии. 2019. №2 (20). С. 242–245. doi:10.33624/2311-0147-2019-2(20)-242-245

Соловьева Д.А., Веркулич С.Р., Пушина З.В., Савельева Л.А., Зазовская Э.П. Последниковые изменения природных условий в северо-западной части Земли Норденшельда (о-в Западный Шпицберген) по результатам исследований отложений в долине Грендален // Геоморфология и палеогеография. в печати

Foged N. Freshwater diatoms from Spitsbergen // Tromso Museums Skrifter. N. 11. 1964. 204 p.

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // Journal of Paleolimnology. 2001. Vol. 25. P. 101–110. doi:10.1023/A:1008119611481

Jones V.J., Birks H. Lake-sediment records of recent environmental change on Svalbard: 941 results of diatom analysis // Journal of Paleolimnology. 2004. Vol. 31. P.445–466. doi:10.1023/B:JOPL.0000022544.35526.11

Picinska-Faltynowicz J. Freshwater benthic diatoms from the south-western part of the 999 Hornsund Fjord area, SW Spitsbergen // Polar Research. 1988. Vol. 6. P. 19–34. doi:10.3402/polar.v6i1.6843

Walton J. A Spitsbergen Salt Marsh: With Observations on the Ecological Phenomena Attendant on the Emergence of Land from the Sea // Journal of Ecology. 1922. Vol. 10. Is. 1. P. 109–121. doi:10.2307/2255433

Zgrundo A., Wojtasik B., Convey P., Majewska R. Diatom communities in the High Arctic aquatic habitats of northern Spitsbergen (Svalbard) // Polar Biology. 2017. Vol. 40. P.873–890. doi:10.1007/s00300-016-2014-y

## DIATOM ASSEMBLAGES FROM HOLOCENE SEDIMENTS IN THE SEMMELDALEN VALLEY (NORDENSKJÖLD LAND, SVALBARD)

Fomicheva E.D.<sup>1,2,3</sup>, Soloveva D.A.<sup>1</sup>, Pushina Z.V.<sup>1,2</sup>, Okunev A.S.<sup>2</sup>, Verkulich S.R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

The first results of diatom analysis and loss on ignition analysis of Quaternary sediments exposed in the middle reaches of the Semmaldalen River (Nordenskjöld Land) are presented. Benthic brackish-water and freshwater diatom flora were discovered. Four Diatom Zones were identified, which characterize environmental changes in the study area during the middle to late Holocene. The diatom assemblages studied allowed to identify the stage of marsh formation and the transition to freshwater sedimentation environments.

Keywords: *Svalbard, Nordenskiöld Land, Quaternary sediments, Holocene, diatom analysis*

### REFERENCES:

Diatomovye vodorosli SSSR (iskopаемые и современные). [USSR diatoms (fossil and modern)]. V.1. Nauka, Leningrad, 1974. 403 p. (In Russian).

Koroleva N. Main Habitat Types of "Russian Svalbard // Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. 2016, doi:10.17076/BG323

Poleshchuk K.V., Pushina Z.V., Verkulich S.R. Holocene diatom assemblages from Dunderbukhta sediments, West Svalbard // Voprosy sovremennoi algologii [Issues of modern algology]. 2019. №2 (20). P. 242–245. doi:10.33624/2311-0147-2019-2(20)-242-245

Foged N. Freshwater diatoms from Spitsbergen // Tromso Museums Skrifter. N. 11. 1964. 204 p.

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // Journal of Paleolimnology. 2001. Vol. 25. P. 101–110. doi:10.1023/A:1008119611481

Jones V.J., Birks H. Lake-sediment records of recent environmental change on Svalbard: 941 results of diatom analysis // Journal of Paleolimnology. 2004. Vol. 31. P.445–466. doi:10.1023/B:JOPL.0000022544.35526.11

Picinska-Faltynowicz J. Freshwater benthic diatoms from the south-western part of the 999 Hornsund Fjord area, SW Spitsbergen // Polar Research. 1988. Vol. 6. P. 19–34. doi:10.3402/polar.v6i1.6843

Walton J. A Spitsbergen Salt Marsh: With Observations on the Ecological Phenomena Attendant on the Emergence of Land from the Sea // Journal of Ecology. 1922. Vol. 10. Is. 1. P. 109–121. doi:10.2307/2255433

Zgrundo A., Wojtasik B., Convey P., Majewska R. Diatom communities in the High Arctic aquatic habitats of northern Spitsbergen (Svalbard) // Polar Biology. 2017. Vol. 40. P.873–890. doi:10.1007/s00300-016-2014-y