

УДК 551.89

О РАЗВИТИИ ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОЙ КОСЫ

© 2023 г. Д. В. Ерошенко^{1, 2, *}, М. Г. Напреенко^{1, 2, **}, Е. В. Дорохова^{1, 2},
Г. С. Харин¹, И. П. Жуковская^{3, ***}, Л. Д. Баширова^{1, 2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

³Национальный парк “Куршская коса”, пос. Рыбачий, Калининградская область, Россия

*e-mail: aoio@rambler.ru

**e-mail: maxnpr@gmail.com

***e-mail: nehrung2@mail.ru

Поступила в редакцию 22.08.2022 г.

После доработки 27.08.2022 г.

Принята к публикации 28.10.2022 г.

В рамках палеогеографических исследований на Куршской косе (геологический разрез CS 024) было проведено изучение берегового разреза со стороны моря в районе пос. Лесной в месте выхода реликтовых лагунных илов. Впервые исследованы гранулометрический, химический и минеральный составы склоновых песков. Подтверждена неоднородность условий формирования песчаных толщ. Выявлена высокая вероятность вторичного изменения составов отложений в результате процессов выветривания. Результаты исследования указывают на постепенное наступление песчаных наносов на прибрежную часть лагуны, которое началось около 10 тыс. лет назад. Дифференциация песчаной толщи на нижнюю и верхнюю часть относительно выделенного в разрезе прослоя-маркера крупнозернистого песка может отражать разные этапы генерации песчаной толщи: от предполагаемого мелководного вала, образованного при поднятии уровня моря, до пляжевых и эоловых песков.

Ключевые слова: Куршская коса, пляжевый песок, палеореконструкция, гиттии, водно-ледниковые суглинки, геохимия, гранулометрия

DOI: 10.31857/S0030157423020041, **EDN:** NVAILT

ВВЕДЕНИЕ

Участок Куршской косы у п. Лесной представляет собой самое узкое место в теле косы и интересен сочетанием разных фаций осадков: от позднечетвертичных водно-ледниковых моренных до голоценовых болотных, лагунных, пляжево-морских и эоловых (рис. 1). Именно здесь, на береговом откосе, имеется выход пачки тонкослоистых реликтовых лагунных илов (гиттий), несогласно залегающих по прослою брекчии на моренных суглинках. На соседних участках зафиксированы известные исследователям и уже неоднократно изученные выходы торфа. Перекрывающие гиттии песчаные осадки имеют слоистую неоднородную структуру, осложненную тонкими прослоями темно-коричневых песков, растительными остатками, включая остатки старой и современной корневой системы, а также перекрывающими их в верхней части берегового откоса четко выраженными почвенными слоями. Этот район неоднократно рассматривался в работах О. Шлих-

та, В.К. Гуделиса, В.А. Жамойды, Г.С. Харина, Е.Н. Бадюковой, А.Ю. Сергеева [1–3, 5, 7, 8]. Выходы илов интерпретировались исследователями как признаки существования в этом месте древней лагуны, а наличие торфяных залежей – как признак болота, образованного на коренном участке берега. Вопрос о происхождении песчаных толщ, слагающих береговой откос, также затрагивался. Их генезис детально изучался в двух работах, рассмотренных ниже. В исследовании Е.Н. Бадюковой данный участок косы интерпретировался как участок коренного берега; на основе данных нескольких пробуренных на значительном отрезке побережья скважин был подробно показан общий литологический разрез голоценовых отложений от верхнего почвенного горизонта до озерно-ледниковых суглинков: выделено семь основных горизонтов, включающих гиттии и палеопочвы [3]. Генезис песков, залегающих в верхней части разреза между двумя прослоями почв, указан как эоловый на основании доминирова-

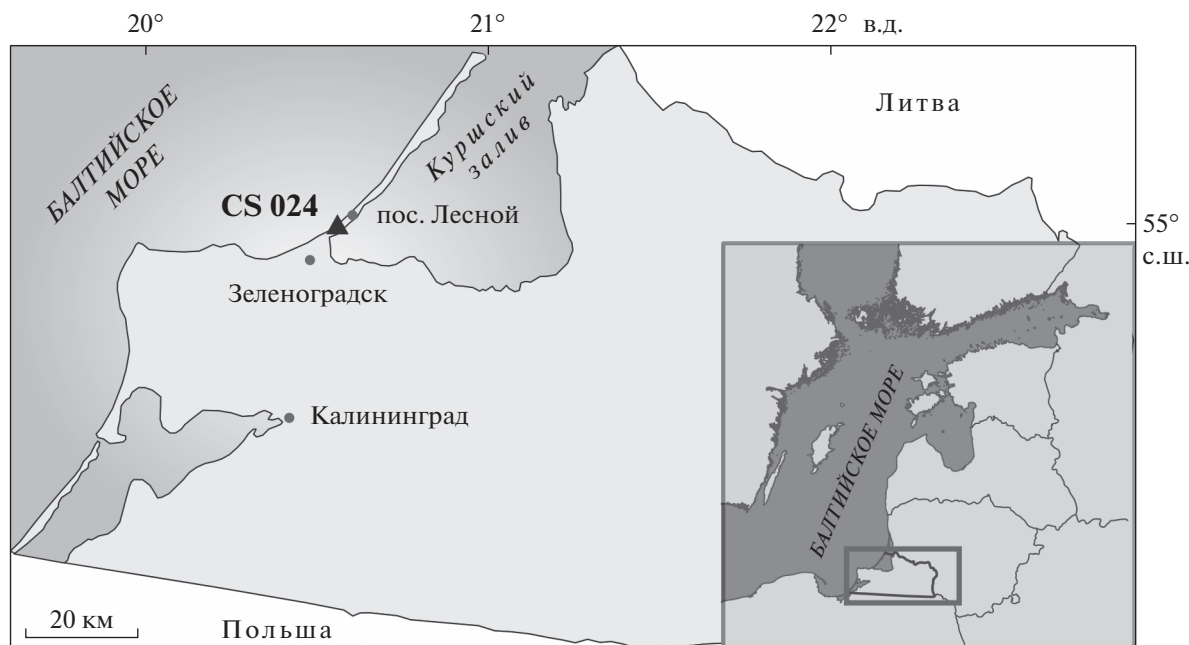


Рис. 1. Положение геологического разреза в точке отбора CS 024 на побережье Куршской косы у пос. Лесной.

ния в составе фракции 0.5–0.25 мм, в то время как генезис нижезалегающих песчаных толщ, перекрывающих слои гиттий, точно не определен. Автор склоняется к гипотезе их водно-ледникового происхождения, оперируя наличием в песках нижней части разреза тонкоалевритовых фракций, а также отсутствием доминирования характерных для эоловых песков фракций 0.5–0.25 мм. В детальной палеорекострукции, проведенной А.Ю. Сергеевым, данный участок косы около 7.5 тыс. лет назад характеризовался намывными процессами, приведшими к формированию со стороны моря песчаных дюн, которые перемещались в сторону лагуны, формируя тело палеокосы и уплотняя лагунные осадки; нижние песчаные слои имеют морской генезис [7]. Таким образом, представленные палеорекострукции указывают на разную интерпретацию происхождения песчаных толщ в нижней и верхних частях разреза.

Целью работы является оценка и сравнение полученных новых данных с уже опубликованным материалом, а также уточнение условий накопления песчаного материала позднеголоценового возраста в месте скопления лагунных илов (гиттий), выходящих на поверхность берегового склона. В процессе анализа полученных данных нам предстоит ответить на основные вопросы: какова природа откоса (береговой клиф коренного берега или песчаная намывная коса со стороны моря); каков генезис песков разреза (водно-ледниковое или пляжевое происхождение).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В ноябре 2020 г. в рамках палеогеографических исследований на Куршской косе была проведена серия экспедиционных работ с отбором осадков. Для исследования был выбран наиболее репрезентативный разрез на абразионном обнажении берегового уступа в 3 км от пос. Лесной – точка CS 024 (54.999° с.ш., 20.577° в.д.) (рис. 1). Вдоль вертикального разреза – от уреза воды до верхнего почвенного слоя – были отобраны пробы песка. Высота разреза составила 570 см (рис. 2). Было отобрано 35 проб осадков на 21 горизонте. В лаборатории геологии Атлантики АО ИО РАН были проведены анализы гранулометрического, минерального и химического составов осадков. Для 23 проб были выделены фракции алевритово-пелитового материала (<0.063 мм), тонкозернистого (0.09–0.063 мм), мелкозернистого (0.25–0.09 мм), среднезернистого (0.5–0.25 мм), крупнозернистого (1–0.5 мм) и грубозернистого (2–1 мм) песка, а также гравийного (>2 мм) материала в соответствии со шкалой Ч. Вентворса [13]. Для оценки гипотез происхождения осадков проведен анализ кривых распределения осадков. Были выделены три группы кривых распределения: полимодальная, бимодальная и логнормальная. Для последней группы с помощью программы Gradistat по методам квинтилей, описанных в работах К.Л. Фолка и В.Ц. Варда, были проведены расчеты гранулометрических параметров: медианы (M_d), среднего размера зерен (M_G), коэффициента сортировки, коэффициента асимметрии, и эксцесса [12]. Кроме того, была определена мода гра-

нулометрических распределений и вычислено отношение моды к среднему размеру зерен, дополняющее асимметрию распределения. Стоит отметить, что до сих пор не существует точной достоверной методики, которая бы позволила, используя только данные гранулометрических параметров, точно отличить песок эолового разноса от морских песков подводных валов, однако вышеперечисленные параметры до сих пор наиболее часто применяются при генетической классификации [6, 11].

Анализ минерального состава проводился как для неразделенной фракции, так и для фракций 0.09–0.063 мм и <0.063 мм с использованием микроскопа Leica DM 2500 POL (с цифровой камерой DFX 490 с разрешением 8 мегапикселей) и иммерсионной жидкости. В рамках поставленной цели исследования было проанализировано 17 проб песка в разных частях разреза для фракций тонкозернистого песка и алевритово-пелитового материала (0.09–0.063 мм и <0.063 мм). Отдельно для проб верхних горизонтов (30–10 и 100–75 см), где удалось взять достаточное для анализа количество алевритово-пелитового материала, была выделена подфракция тяжелых минералов. Под микроскопом в неразделенных фракциях определялась также степень окатанности зерен песка (окатанные, угловато-окатанные, угловатые, неокатанные).

Химический анализ проводился для 23 проб, включая пробы глин и илов; были определены следующие элементы: фосфор (P_2O_5), азот ($N_{общ}$), аморфный кремнезем ($SiO_{2ам}$) (спектрометр КФК-3М), формы углерода $C_{орг}$ (экспресс-анализатор углерода АН-7529М), As, Cd, Pb (атомно-абсорбционный спектрометр Квант-Z-ЭТА), Fe, Mn, K, Na, Ca, Mg, Ti, Cu, Zn, Co, Ni, Cr (атомно-абсорбционный спектрометр Varian AA 240 FS).

В целях проверки гипотезы о дифференцированной песчаной толще проведен кластерный анализ по методу одиночной связи (“ближайшего соседа”) для нормированных к 100% данных по гранулометрическим параметрам, химическому и минеральному составам песков логнормальной группы. Для химического состава выбраны наиболее полные анализы по элементам, содержание

которых выше пределов чувствительности метода определения: $SiO_{2ам}$, $C_{орг}$, K, Na, Ca, Ni, Cr, Pb, As.

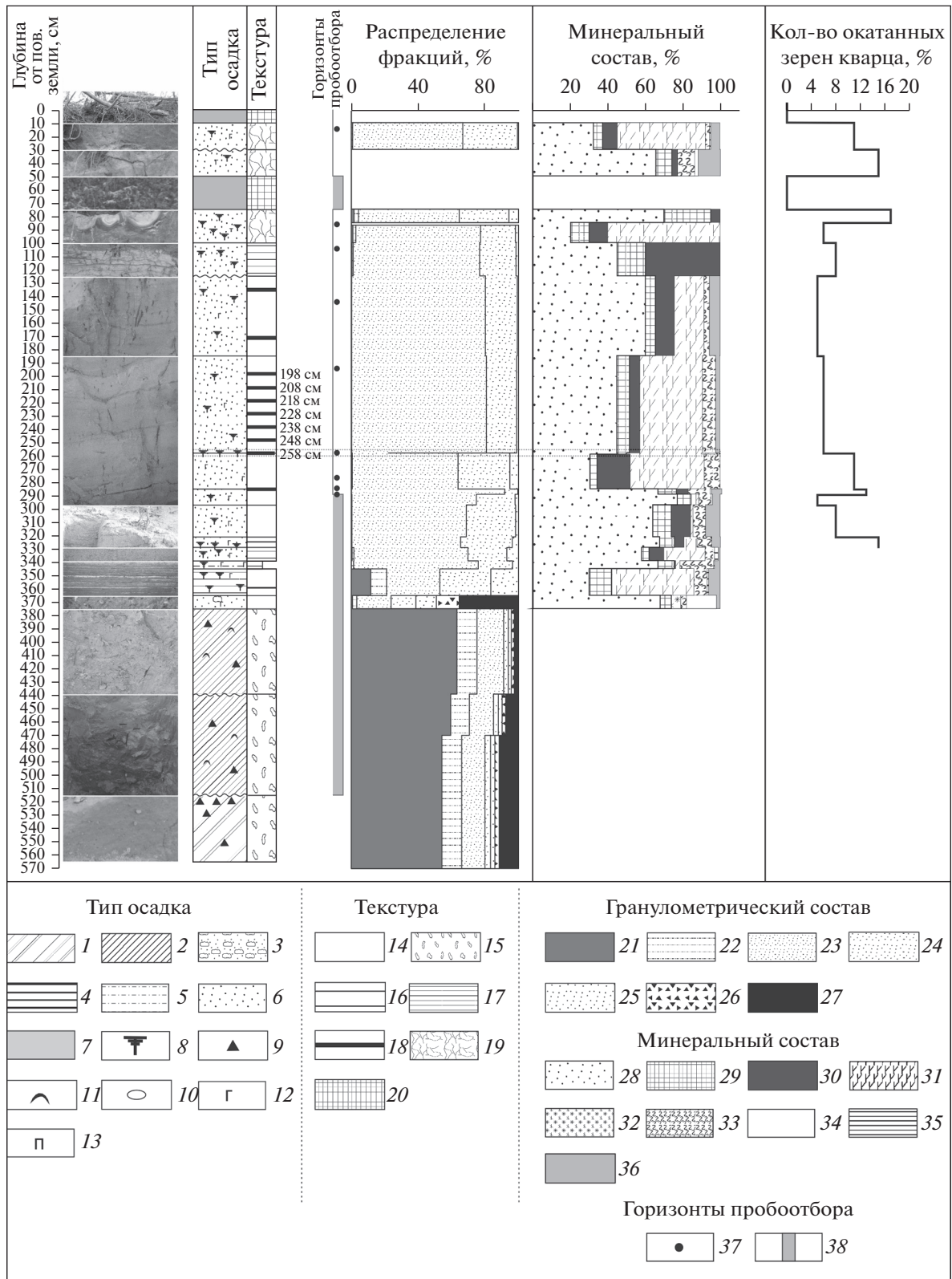
РЕЗУЛЬТАТЫ

Описание геологического разреза. В основании разреза находится двухметровый слой озерно-ледниковых песчаных суглинков палево-коричневого, серого цвета, плотных, пятнистой (неоднородной) текстуры, с галечно-гравийным материалом разной степени окатанности, с включениями неокатанного гравийного и валунного материала, представленного аргиллитами и алеврититами, обломками известняков. В верхней части блока наблюдаются следы сульфидизации (рис. 2).

Выше по разрезу на горизонте 375–365 см (здесь и далее интервалы даны от уровня современной поверхности земли) наблюдается прослой осадочной брекчии. Основная матрица представлена гравийным материалом разной степени окатанности и разнозернистым преимущественно кварцевым песком с примесью карбонатов, глауконита. По четкой горизонтальной границе на горизонте 365–339 см залегает пачка слоистых илов (гиттий) темно-коричневого до серого цвета с горизонтальными песчаными прослоями более светлого песка с постепенным увеличением мощности песчаных прослоев вверх по разрезу (рис. 3). Изменение частоты и мощности этих прослоев является свидетельством ритмического наступления песка на литоральную часть лагуны, что очень важно для последующих палеорекопструкций.

Выше, на интервале 339–185 см, они перекрываются пачкой песка, которая имеет преимущественно вдольбереговое наклонно-горизонтальное простирание. На соседних с разрезом участках к нижней части этой толщи приурочены выходы почвенных вод. Сама толща имеет разнородное строение: характеризуется как ярко выраженной слоистой (гор. 339–329 см), так и гомогенной текстурой (рис. 2). На горизонтах 339–329 см и 289–185 см отмечены шесть четких прослоев песка более плотных и более темных оттенков, нежели вмещающие его осадки и они хорошо различаются на склоне разреза (рис. 2). На го-

Рис. 2. Литологическая схема геологического разреза CS 024. Типы осадков: 1 – суглинок песчанистый палево-коричневого цвета, 2 – суглинок песчанистый серого цвета, 3 – песчаная брекчия, 4 – алевритовый ил (гиттия), 5 – алевритовый слоистый ил, 6 – песок, 7 – почвенный горизонт, 8 – остатки растений, 9 – гравий, 10 – галька, 11 – обломки карбонатных пород, 12 – глауконит, 13 – выветрелые полевые шпаты; текстура осадков: 14 – гомогенная, 15 – неоднородная, 16 – редко слоистая, 17 – слоистая, 18 – единичные прослои, 19 – трещиноватая с темными затеками, 20 – почвенная; гранулометрический состав (фракции, мм): 21 – пелит (<0.063 мм), 22 – алевропелит (0.063–0.09 мм), 23 – мелкозернистый песок (0.09–0.25 мм), 24 – среднезернистый песок (0.25–0.5 мм), 25 – крупно- и грубозернистый песок (0.5–2.0 мм), 26 – гравий (2–4 мм), 27 – валунно-галечный материал (>4 мм); минеральный состав: 28 – кварц, 29 – полевой шпат, 30 – рудные аутигенные черные, 31 – бурые растительные остатки, 32 – лимонитизированный агрегат, 33 – глауконит, 34 – карбонат, 35 – слюда, 36 – тяжелые минералы; горизонты пробобора: 37 – точечный, 38 – сплошной. Пунктиром выделен слой-маркер крупнозернистого песка (гор. 258–259 см).



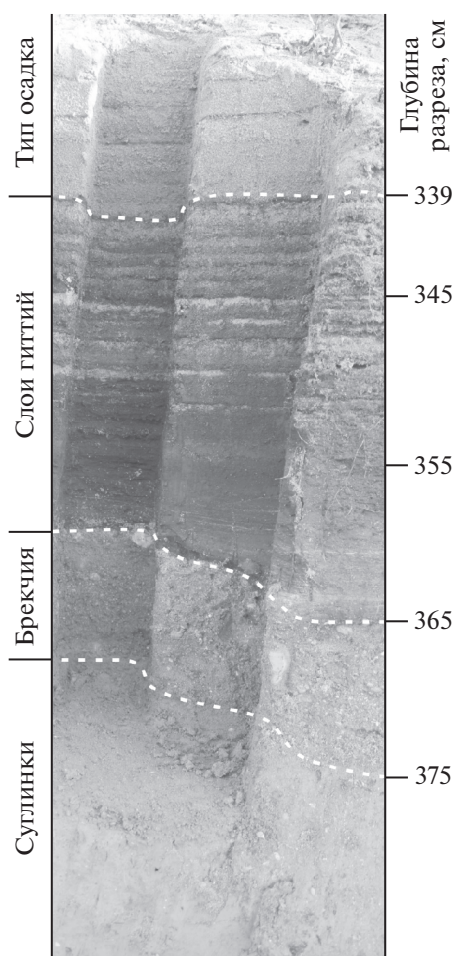


Рис. 3. Фрагмент геологического разреза CS 024 со слоями лагунных гиттий.

ризонте 259–258 см присутствует ровный горизонтальный выдержанный по простиранию сантиметровой прослой крупнозернистого темно-коричневого кварцевого песка с обильными включениями растительных остатков. По всей песчаной толще зафиксированы остатки корневой системы. Все выделенные в этой пачке тонкие прослой имеют наклон в сторону залива в пределах видимой глубины разреза.

Выше по разрезу (гор. 185–125 см) по неровной волнистой границе залегает светло-коричневый кварцевый песок с разнородной преимущественно субгоризонтальной слоистой текстурой, которая осложнена затеками органики темного цвета по остаткам корневой системы.

Интервал 125–75 см представлен кварц-полевошпатовым песком темно-серого до темно-коричневого оттенка, более сцементированным, с характерной неравномерной трещиноватой текстурой, осложненной многочисленными затеками темного цвета по присутствующей корневой системе. Выше залегает прослой палеопочвы

(гор. 75–50 см), для которого характерно обильное включение остатков растительности. В нем зафиксированы некарбонатные рыхлые стяжения белого цвета (измененные плагиоклазы). Все это указывает на проходившие процессы оподзолевания. Прослой выдержан по простиранию, на соседнем склоне (2 м к северу от разреза) текстура данного прослоя приобретает черты смятия, образуя складки с диаметром первые 10 см, заполненные белым веществом (подзолом).

Верхняя часть разреза (интервал 50–30 см) характеризуется наличием густой сети современной корневой системы и представлена хорошо отсортированным кварцевым песком. Вышезалегающий по неровной и постепенной границе прослой песка (интервал 30–10 см) имеет хорошую степень сцементированности и характеризуется более темным оттенком вследствие обильных затеков органики и является подстилающим горизонтом слоя современной почвы (интервал 10–0 см).

Гранулометрический состав. Гранулометрический анализ позволил выделить основные литогенетические типы осадков разреза. Нижняя часть исследуемого разреза представлена водноледниковыми суглинками с содержанием тонких фракций (алеврит–пелит) не менее 50–60% от общего состава (рис. 2, табл. 1). Перекрывающая их брекчия выделяется резким доминированием крупнозернистых фракций. Гранулометрический состав проб выше горизонта гиттий, а также присутствие в нижней его части горизонта зерен крупнозернистого песка и среднезернистого песка (>20%) указывают на неоднородность условий накопления, смену гидрологического режима, при котором обстановка спокойного осадконакопления неоднократно менялась, что отмечено по характерной слоистости в литологическом описании.

Вышезалегающая толща песков по своим гранулометрическим характеристикам представляет собой преимущественно среднезернистые хорошо сортированные пески. Доминирующей фракцией является 0.5–0.25 мм, ее содержание резко возрастает вверх по разрезу с 20 до 60–80%. Исключением является слой крупнозернистого песка на горизонте 259–258 см (содержание фракции 1–0.5 мм – 51.11%). Содержание в песках алевритово-пелитовой фракции (<0.063 мм) незначительно на всем протяжении песчаных горизонтов (0.1–1.5%). В самых верхних горизонтах разреза (интервал 50–10 см) оно возрастает до 4.3%, что объясняется современными процессами выветривания и почвообразования. При этом фракция 0.5–0.25 мм в них также является доминирующей (70.9–76.4%).

Анализ кривых гранулометрических распределений в осадках исследуемого разреза позволил выделить 3 основных группы: полимодальная

Таблица 1. Гранулометрический состав осадков разреза СS 024. Типы осадков: с/з Пс – среднезернистый песок, р/з Пс – разноезернистый песок, к/з Пс – крупнозернистый песок, АПс – алевроитовый ил с песком, Б – брекчия, Г – глина

Лит. интервалы, см	Тип осадка	Галька		Гравий		Пески грубо-зернистые		Пески крупно-зернистые		Пески среднезернистые		Пески мелкозернистые		Пески тонкозернистые		Алевриты и пелиты
		>10 мм	10–4 мм	4–2.8 мм	2.8–2 мм	2–1.4 мм	1.4–1 мм	1–0.71 мм	0.71–0.5 мм	0.5–0.355 мм	0.355–0.25 мм	0.25–0.18 мм	0.18–0.125 мм	0.125–0.09 мм	0.09–0.063 мм	
10–30	с/з П	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	1.59	6.08	26.77	44.13	15.03	2.67	1.48	0.71	0.90
30–50	с/з П	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.62	5.05	27.63	48.75	15.24	1.87	0.60	0.16	0.00
75–50	Почва	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.95	10.53	11.56	12.84	8.77	5.81	2.49	2.15	1.86	5.03
85–75	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	3.89	7.79	21.97	41.17	17.20	1.82	1.70	1.03	1.52
75–100	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	1.23	2.94	17.97	54.21	19.05	1.31	1.14	0.63	0.85
100–125	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.95	3.27	18.51	50.09	24.16	1.51	0.43	0.22	0.30
125–185	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.52	2.46	16.57	53.19	25.83	1.00	0.07	0.03	0.05
185–258	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.67	2.68	15.50	51.38	28.10	1.12	0.08	0.04	0.02
258–259	к/з П	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.19	28.98	22.13	14.66	13.55	7.25	0.70	0.23	0.10	0.21
277	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	4.27	6.80	24.20	45.62	16.18	1.55	0.39	0.02	0.02
258–289	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.19	0.68	7.16	66.25	24.08	1.34	0.07	0.00	0.00
289–297	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	1.74	7.27	15.88	42.62	30.21	1.59	0.22	0.12	0.00
297–321	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	1.47	6.15	23.33	48.08	19.37	1.04	0.12	0.02	0.13
321–329	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.77	7.12	23.83	47.11	16.90	0.98	0.17	0.06	0.06
329–339	с/з Пс	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.81	3.21	4.70	18.58	43.67	22.31	2.20	0.81	0.35	0.35
339–345	АПс (гиттия)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.64	2.22	4.92	14.72	33.74	26.67	4.51	2.95	1.74	5.89
339–345	р/з Пс (гиттия) (общ. проба)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.81	1.94	3.55	10.48	37.36	31.86	6.31	3.35	1.79	0.54
339–345	с/з Пс (гиттия)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57	2.04	4.72	15.79	46.92	25.84	1.84	1.29	0.00	0.00
345–365	АПс (гиттия)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.37	10.25	11.92	18.56	15.19	10.79	5.83	5.19	4.38	11.52
365–375	Б	8.13	21.86	5.50	6.41	7.33	5.04	7.21	5.08	9.74	9.24	6.78	4.47	1.96	0.63	0.62
375–439	Г	0.00	2.12	0.38	0.92	0.93	0.82	0.95	1.14	1.70	2.76	5.15	8.01	7.92	4.02	63.17
439–470	Г	5.38	1.23	1.06	0.85	1.29	1.02	1.23	1.24	1.70	2.53	4.63	7.24	7.15	4.06	59.39
470–515	Г	0.00	9.79	1.85	1.22	1.32	1.22	1.36	1.41	1.89	2.73	4.60	6.65	7.47	4.36	54.11

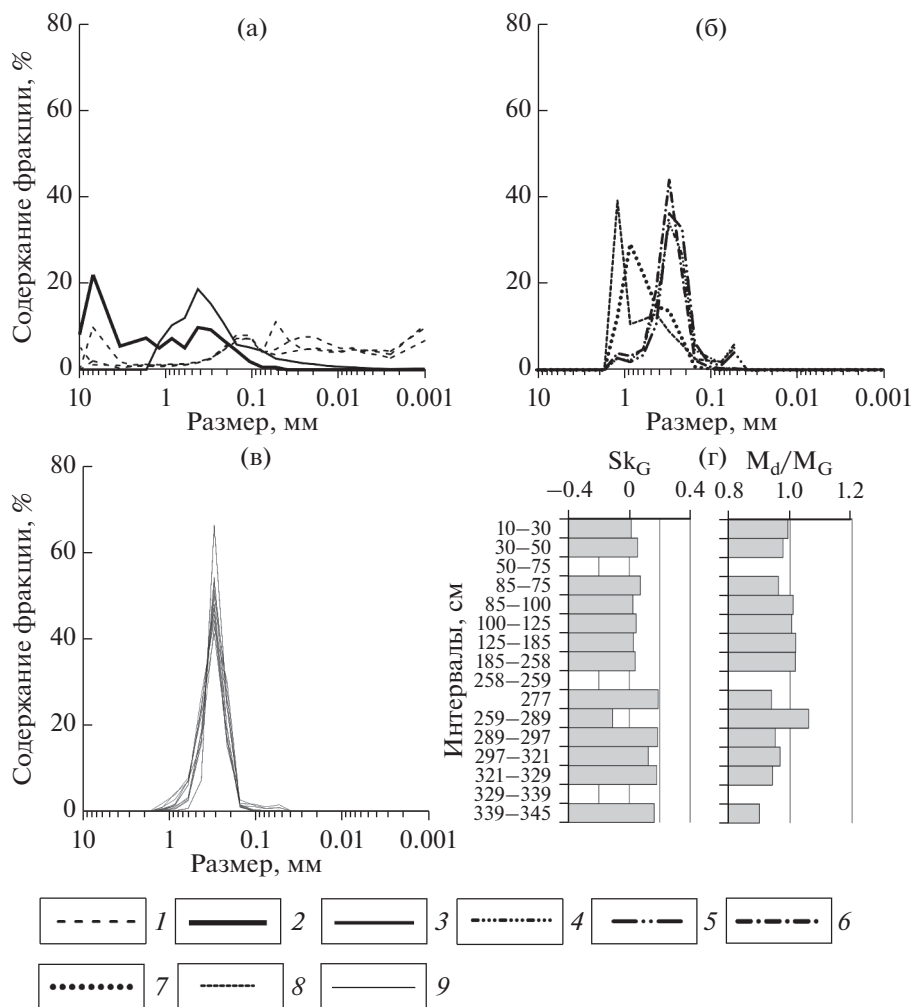


Рис. 4. Кривые распределения фракций и динамика гранулометрических параметров в осадках разреза CS 024. Группы кривых распределений: а – полимодальная (горизонты глины, илов), б – близкая к бимодальной (к/з–с/з песок), в – логнормальная (с/з песок); г – распределение гранулометрических параметров проб песков логнормальной группы по разрезу CS 024 (коэффициент сортировки (Sk_G), соотношение моды к среднему размеру зерен (M_d/M_G)). Литологические горизонты: 1 – 375–515 см (глина), 2 – 375–365 см (брекчия), 3 – 365–345 см (ил), 4 – 345–339 см (ил), 5 – 345–339 (общая проба), 6 – 339–329 см, 7 – 259–258 см, 8 – 75–50 см, 9 – 258–10 см.

группа, куда входят глины, брекчия и ряд алевритовых илов с песком (гиттий); бимодальная группа – пески нижней части разреза, включая прослой крупнозернистого песка на горизонте 259–258 см; логнормальная группа – пески нижней, средней и верхней части разреза (рис. 4). Полимодальные распределения характерны для осадков ледникового генезиса вследствие их многокомпонентности, а также для гиттий, где отражены как нефелоидный тип осадконакопления в лагуне, так и примесь морских песков (рис. 4а). Особенностью кривой распределения проб алевритово-песчаного осадка на горизонте 365–345 см является ее открытая часть в сторону мелких алевритовых и пелитовых фракций, что указывает на присутствие нефелоидного типа осадконакопления в лагуне. Наличие бимодального за-

крытого распределения (или близкого к нему) для горизонта гиттий и ряда вышележающих песчаных горизонтов (259–258, 339–329 см) с одной из мод в области крупнозернистых и среднезернистых фракций может свидетельствовать о влиянии различных режимов осадконакопления, в том числе интенсивного гидродинамического воздействия (рис. 4б). Песчаная толща третьей группы характеризуется логнормальным распределением, с характерной для него почти симметричной колоколообразной формой, высокой степенью симметрии, закрытой формой кривых и незначительным сдвигом в сторону крайних фракций (рис. 4в).

С целью попытки рассмотреть возможную дифференциацию песчаной толщи этой группы были рассчитаны гранулометрические парамет-

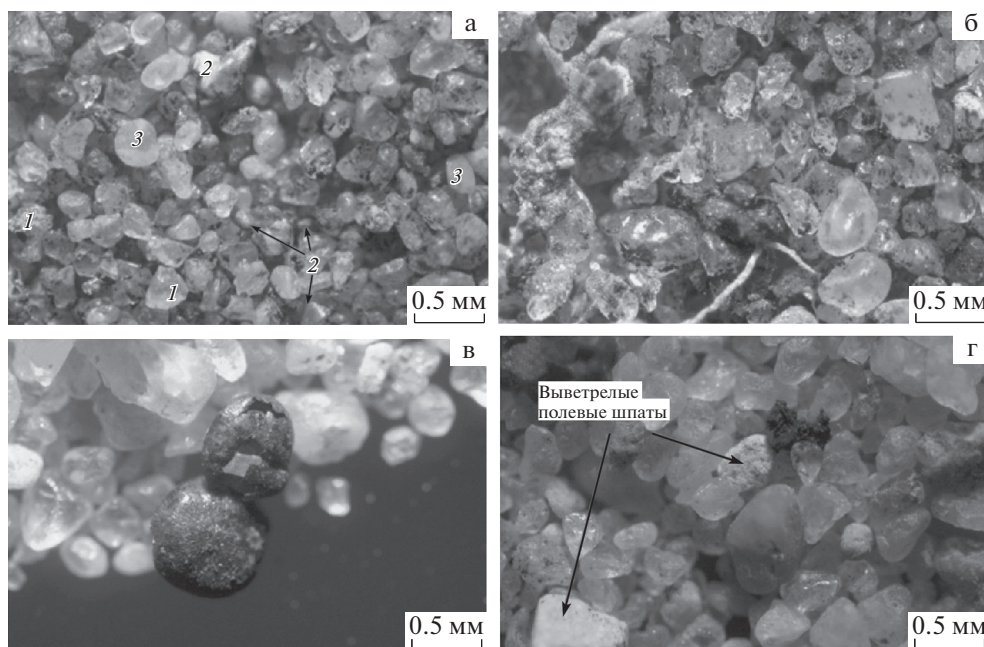


Рис. 5. Микрофотографии несортированных осадков разреза CS 024. Увеличение $\times 2.5$: а – прослой среднезернистого темно-коричневого песка (гор. 277 см в пачке 289–259 см), в составе: окатанные зернами кварца (1), глауконита (2), полевого шпата (3), остатки темно коричневого биогенного цемента на зернах; б – биогенные включения в прослое темно-серого среднезернистого песка, горизонт отбора 100–75 см; в – пыльца растений, горизонт 85–75 см; г – сцементированные агрегаты полевых шпатов (зерна белого цвета), горизонт 85–75 см.

ры. Выделено две группы песчаных осадков: нижняя (гор. 345–259 см) (значение коэффициента асимметрии в интервале от 0.125 до 0.191), верхняя (гор. 258–10 см) (коэффициент асимметрии в интервале от 0.013 до 0.073). Значения коэффициентов сортировки и эксцесса слабо меняются на всем протяжении разреза: от 1.26 до 1.57 (сортировка) и от 1.04 до 1.36 (эксцесс). На графике отношения моды к среднему размеру зерен (M_d/M_G) (рис. 4г) видно, что для большинства горизонтов нижней части разреза эти показатели преимущественно ниже единицы, что указывает на более обильный привнос тонкозернистого материала, нежели для перекрывающих их песков. В то время, как для горизонта 258–75 см соотношение $M_d/M_G = \sim 1$, т.е. пески этого горизонта получали меньшее количество тонкозернистых фракций, что может указывать на длительную волновую или эоловую переработку материала.

Минеральный состав. Состав песка достаточно однороден: в неразделенных фракциях доминирует угловатый, угловато-окатанный кварц. В верхней части разреза (гор. 75–10 см) отмечено повышенное содержание окатанных зерен кварца (выше 10% от общего количества зерен) (табл. 2, рис. 2). В неразделенных пробах на всем протяжении разреза зафиксированы полевые шпаты, глауконит разной степени измененности, встречены обломки пород (граниты, кварциты, сланцы) (рис. 5а). Присутствуют многочисленные растительные

остатки (до 60%) в виде цемента и биогенных включений, при этом их концентрация явно влияет на цветовую гамму песков (рис. 5б). В особенности это касается тонких темно-коричневых прослоев песка, вскрытых в интервале 289–259 см (гор. 277 см). Биогенные лигнитизированные остатки играют частично роль цемента, который присутствует на зернах песка практически всех горизонтов. Выше прослоя палеопочвы (50–10 см) в пробах обнаружены включения в виде остатков зерен растений (рис. 5в). Также в верхней части разреза (интервал 125–10 см) зафиксированы остатки выветрелых полевых шпатов в виде слабосцементированных агрегатов белого цвета (рис. 5г), что является отличием песков верхней части разреза. Для этих же песков отмечена более высокая степень сцементированности.

В составе тонкопесчаной и алевритово-пелитовой фракций (0.09–0.063 мм и < 0.063 мм) на всем протяжении разреза также характерно доминирование угловато-окатанного кварца (20–77.1%) и частично полевых шпатов (3.8–25%) (табл. 2) (рис. 6а, б, в, г, д). В группе тяжелых минералов отмечены амфиболы, гранат, эпидот, циркон, рутил, дистен, турмалин, слюдные, черные рудные минералы окатанной и угловато-окатанной формы, что характерно для пляжевых песков Балтики (табл. 2, рис. 6б, д). Зерна черных рудных минералов характеризуются большей сте-

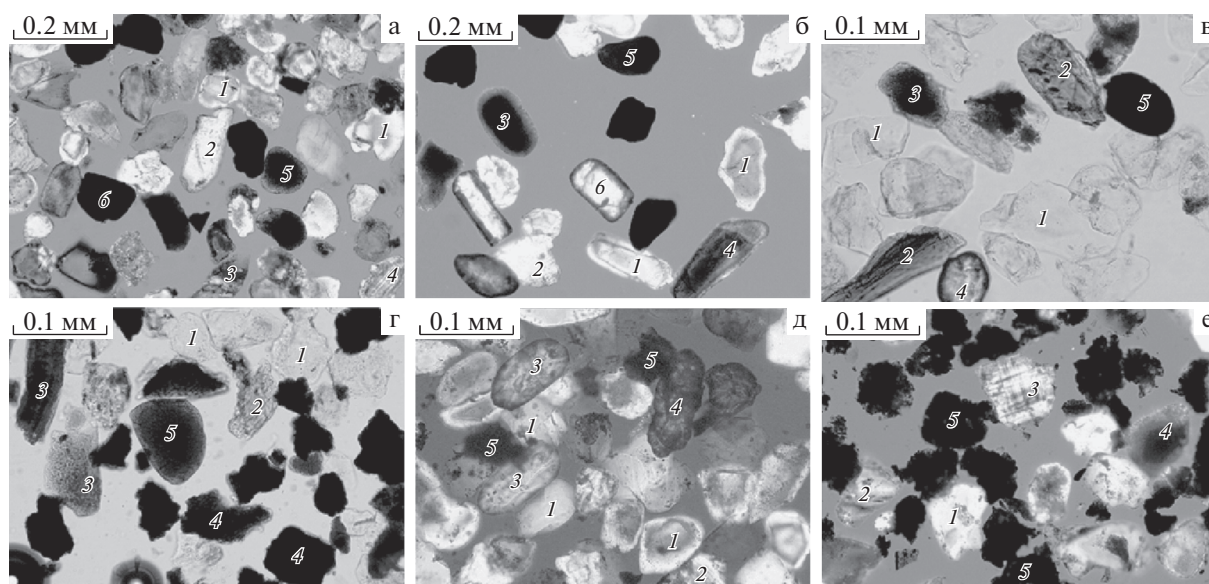


Рис. 6. Минеральный состав мелкопесчаной и крупноалевритовой фракций в песках разреза CS 024: а – фракция 0.250–0.09 мм, гор. 321–297 см, 1 – кварц, 2 – дистен, 3 – плагиоклаз, 4 – микроклин, 5 – глауконит, 6 – черные рудные; б – фракция 0.250–0.09 мм, гор. 285 см, 1 – кварц, 2 – плагиоклаз, 3 – глауконит, 4 – амфибол, 5 – черные рудные, 6 – циркон; в – фракция 0.125–0.09 мм, гор. 297–289 см, 1 – кварц, 2 – амфибол, 3 – глауконит, 4 – циркон, 5 – черные рудные; г – фракция <0.063 мм, гор. 195 см, 1 – кварц, 2 – амфибол, 3 – лигнитизированные растительные остатки, 4 – аутигенные черные, 5 – глауконит; д – фракция <0.063 мм, гор. 85–75 см, 1 – кварц, 2 – плагиоклаз, 3 – циркон, 4 – рутил, 5 – лимонитизированные растительные остатки; е – фракция <0.063 мм, гор. 85–75 см, 1 – кварц, 2 – полевой шпат, 3 – микроклин, 4 – глауконит, 5 – лимонитизированные растительные остатки.

пенью окатанности (рис. бв, г), нежели зерна кварца и полевых шпатов.

На всем протяжении разреза в пробах песка зафиксировано присутствие измененного глауконита (5–11.7%) темно-зеленого (до черного) цвета (интервалы 339–185 см и 50–10 см) (рис. ба, б, е). Но в песках верхних интервалах (125–75 см) глауконит и тяжелые минералы в крупноалевритовой фракции не зафиксированы.

Химический состав песков. Распределение химических элементов по разрезу в целом отражает границы выделенных при описании литологических комплексов. Диапазон содержаний элементов в пробах всех осадков перекрывает минимальный диапазон погрешности определений стандартного образца при анализе, за исключением Mn и Cd (табл. 3). При выделении группы песков логнормального распределения, спектр элементов с подобными значениями по отношению к стандартному образцу существенно расширяется, туда попадают $N_{\text{общ}}$, Fe, Mn, K, Mg, Ti, Cu, Zn, Ni, Cd, и Pb. Но надо отметить, что погрешности измерений содержаний элементов для стандартных образцов и для изученных проб могут отличаться друг от друга, поэтому мы не можем исключить из анализа вышеприведенные элементы. Ряд элемент-определений в табл. 3 характеризуется значениями ниже порога измерений, что также необходимо учитывать при интерпретации.

Содержание элементов биогенной группы в пробах песка незначительно (содержание азота в большинстве проб ниже 1%, т.е. часто ниже погрешности измерений). Это объясняется интенсивными процессами выветривания, характерными для песков. Максимальное содержание приурочено к прослою песка в пачке гиттий (гор. 345–339 см) и к прослою палеопочвы (гор. 75–50 см): $N_{\text{общ}} = 1.03\%$, $C_{\text{орг}} = 32.7\%$. Соотношение $C_{\text{орг}}/N_{\text{общ}}$ более показательнее и своей динамикой маркирует горизонты максимального содержания растительных остатков на разрезе. Четко выделяются прослой, обогащенные илом и алевритом, богатые органическим веществом: 365–345 см, 285–258 см (прослой темного алевритистого песка) и 100–75 см и 10 см, подстилающие древний и современный почвенные горизонты. Низкое значение показателя на горизонте 75–50 см объясняется резким увеличением $N_{\text{общ}}$ (с 0.01 до 1.03%). В любом случае абсолютные значения указывают на более интенсивное вымывание азота из песков, нежели $C_{\text{орг}}$ (табл. 3).

Содержание P_2O_5 в пробах осадков также мало (0.001–0.27%) и по своему распределению отражает динамику глауконита, указывая в качестве источника на терригенное происхождение и маркируя окислительные условия при размыве и накоплении осадка. Характерно, что в песчаных

Таблица 3. Химический состав осадков разреза СS 024. Типы осадков: с/з Пс л.г. – среднерезервный песок логнормальной группы, к/з Пс – крупнозернистый песок, р/з Пс – разномзернистый песок, АПс – алевритовый ил с песком, Б – брекчия, Г – глина

№ п/п	Горизонт, см (от у.л.з.)	Тип осадка	Состав пробы, %						Состав пробы, ppm													
			$C_{opt}^{\%}$	$N_{opt}^{\%}$	$SiO_2^{зам}$	$C_{opt}^{зам}$	$N_{opt}^{зам}$	P_2O_5	Fe	Mn	K	Na	Ca	Mg	Ti	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Cd	Pb
1	10–30	с/з Пс– л.г.	1.41	<0.01	0.74	~141	0.18	0.4	0.01	0.49	0.35	0.66	0.11	0.01	8	17	3	8	8	0.1	7	6
2	30–50	с/з Пс– л.г.	0.42	<0.01	1.08	~42	0.15	<0.01	0.52	0.48	0.93	0.16	<0.01	7	9	9	14	7	0.1	3	4	
3	50–75	почва	32.70	1.03	0.85	31.75	0.15	0.33	<0.01	0.31	0.6	2.19	0.22	0.03	8	10	6	15	12	0.1	17	6
4	75–85	с/з Пс– л.г.	0.34	<0.01	0.91	~34	<0.001	<0.01	0.12	0.22	0.37	<0.01	<0.01	5	3	2	8	12	<0.1	1	4	
5	85–100	с/з Пс– л.г.	1.54	<0.01	0.62	~154	0.01	<0.01	0.39	0.19	0.46	0.05	<0.01	5	3	5	13	7	0.1	2	4	
6	100–125	с/з Пс– л.г.	0.79	<0.01	0.74	~79	<0.001	<0.01	0.45	0.28	0.47	0.07	<0.01	5	4	<1	4	7	<0.1	1	4	
7	125–185	с/з Пс– л.г.	0.53	<0.01	0.44	~53	0.01	0.13	<0.01	0.54	0.29	0.44	0.05	<0.01	4	5	7	11	14	<0.1	3	4
8	185–258	с/з Пс– л.г.	0.31	<0.01	0.54	~31	0.18	0.13	<0.01	0.54	0.35	0.7	0.1	<0.01	5	5	9	8	7	<0.1	4	4
9	258–259	к/з Пс	0.57	<0.01	0.59	~57	0.20	<0.01	0.82	0.63	0.71	0.12	<0.01	3	9	1	1	8	0.1	3	6	
10	277	с/з Пс– л.г.	1.36	<0.01	0.79	~136	0.20	0.18	<0.01	0.5	0.3	0.65	0.13	<0.01	2	4	3	7	13	<0.1	4	4
11	259–289	с/з Пс– л.г.	0.40	0.06	0.57	6.67	0.21	0.48	<0.01	0.54	0.68	0.82	0.1	<0.01	<1	4	2	8	11	<0.1	4	4
12	289–297	с/з Пс– л.г.	0.31	<0.01	0.49	~31	0.18	0.23	<0.01	0.74	0.84	0.69	0.1	<0.01	2	2	2	13	12	<0.1	3	40
13	297–321	с/з Пс– л.г.	0.27	<0.01	0.44	~27	0.19	0.09	<0.01	0.44	0.3	1.27	0.07	<0.01	4	1	5	4	11	0.1	4	47
14	321–329	с/з Пс– л.г.	0.56	0.03	0.36	18.67	0.20	0.34	<0.01	0.56	0.61	0.75	0.05	<0.01	1	<1	<1	5	23	<0.1	6	41

Таблица 3. Окончание

№ п/п	Горизонт, см (от у.л.з.)	Тип осадка	Состав пробы, %										Состав пробы, ppm									
			$C_{opt}^{\%}$	N_{6m}	SiO_{2am}	C_{opt}^{6m}	P_2O_5	Fe	Mn	K	Na	Ca	Mg	Ti	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Cd	Pb	As
15	329–339	с/з Пс	2.56	0.08	0.43	32.00	0.28	0.72	<0.01	0.8	0.59	1.03	0.23	0.02	<1	10	1	5	25	<0.1	5	48
16	339–345	АПс	1.42	<0.01	0.30	~142	0.28	0.71	<0.01	0.7	0.72	1.91	0.29	0.03	2	8	5	7	30	<0.1	2	59
17	339–345	с/з Пс л.г.	0.54	0.01	0.41	54.00	0.27	0.5	<0.01	0.63	0.48	1.2	0.14	0.04	3	3	3	4	22	<0.1	3	66
18	339–345	р/з Пс	3.51	0.07	0.52	50.14	0.25	1.28	<0.01	0.76	0.44	0.97	0.18	0.03	3	9	<1	16	26	0.1	5	41
19	345–365	Апс	3.61	0.95	0.44	3.80	0.19	3.27	0.02	1.42	0.79	4.57	1.15	0.08	11	62	5	30	58	0.2	4	59
20	365–375	Б	1.85	0.02	0.27	92.50	0.06	1.18	0.03	1.39	1.16	9.21	2.47	0.05	3	17	6	22	34	0.1	5	67
21	375–439	Г	0.45	0.02	0.35	22.50	0.06	2.39	0.04	1.99	0.85	7.45	1.92	0.17	12	28	10	24	52	<0.1	4	47
22	439–470	Г	0.46	0.22	0.24	2.09	0.05	1.88	0.04	2.03	0.73	5.41	2.48	0.14	7	24	12	28	40	<0.1	4	53
23	470–519	Г	0.52	0.08	0.22	6.50	0.07	2	0.04	2.01	0.95	7.31	1.66	0.2	39	32	9	19	36	0.1	5	49
БИЛ	По результатам		0.37	0.19	0.26		0.331	5.27	0.27	1.50	1.38	1.50	1.30	0.38	44	85	20	60	60	0.2	21	21
	Атгестованные значения		0.34 ± 0.06	0.21 ± 0.02	0.30 ± 0.05		0.345 ± 0.015	4.90 ± 0.54	0.30 ± 0.05	1.83 ± 0.36	1.45 ± 0.28	1.32 ± 0.23	1.20 ± 0.21	0.41 ± 0.09	52 ± 7	96 ± 14	18 ± 2	54 ± 6	66 ± 4	0.2	21 ± 3	18 ± 3
Статистические показатели в почвообразующих породах Эмландского п-ва	водно-ледниковые пески и супеси						$0.02-0.68$	1.52	0.005	1.37	0.36	0.22	0.6	0.25	5-16	7-53	2-21	20.5-136.8			2-23	1-8
	моренные пески и супеси						$0.07-0.31$	2.28	0.032	1.84	0.36	0.29	0.63	0.32	5-23	11-51	6-25	20.5-130			5-23	1-11
	золотые пески Балтийской и Куршской кос						$0.10-0.53$	0.51	0.011	0.35		0.65	0.3	0.16	3-11	4-17	2-16	13.7-41			2.7	Менее 1-2
Среднее содержание	с/з ПС-л.г.		0.69	~0.01	0.64		~0.13	~0.17	~0.01	0.49	0.41	0.68	~0.08	~0.01	~4.04	~4.79	~4	8.58	11.00	~0.10	3.50	12.63
	гиттия		2.47	0.07	0.41		0.26	1.00	<0.01	0.73	0.58	1.44	0.24	0.03	2.50	8.50	~5.00	11.50	28.00	~0.10	3.50	50.00
	глина		0.82	0.09	0.27		0.06	1.86	0.04	1.86	0.92	7.35	2.13	0.14	15.25	25.25	9.25	23.25	40.50	0.10	4.50	54.00

пробах верхней части разреза (185–75 см) его содержание очень мало.

Максимальные концентрации Fe, Mn, Ca, Mg, Ti приурочены к нижним горизонтам разреза (глинам, илам, брекчиям, 515–365 см). Выше по разрезу в песках их содержание падает в разы (Fe 3.27 до 0.01%; Mn с 0.4 до 0.001%, Ca с 9.27 до 2%; Mg с 2.47 до 0.2%; Ti с 0.2 до 0.01%). Можно заметить, что распределение содержаний данных элементов в песках связано с распределением алевритово-пелитовой фракции. Значения рассчитанных коэффициентов корреляции для этой связи больше 0.72.

Распределение менее устойчивых элементов K и Na не имеет общей прямой зависимости от содержания фракций или минерального состава. Наблюдается постепенное уменьшение содержания этих элементов вверх по разрезу от максимальных значений в глинах, илах и перекрывающих их прослоях песка до минимальных значений в толще песков верхней части разреза (125–75 см). На распределение этих элементов влияют современные процессы выветривания, включая вынос с поверхностными и почвенными водами. Это косвенно подтверждает наличие в песках верхней части разреза (125–10 см) рыхлых агрегатов выветрелых полевых шпатов.

Распределение $\text{SiO}_{2\text{ам}}$ в песках ожидаемо мало (в среднем 0.54%). В морских и лагунных осадках он, как правило, приурочен к алевритово-пелитовой и мелкоалевритовой фракциям [4]. В данном случае его содержание не зависит от содержания мелких фракций. Единственное подобие корреляции с среднезернистой фракцией (до 0.57) наблюдается в верхних горизонтах (258–10 см), которые отличаются повышенной цементованностью. Вероятно, $\text{SiO}_{2\text{ам}}$ входит в состав цементирующего вещества, скрепляющего агрегаты измененных полевых шпатов и глауконитов.

Распределение редких элементов Cu, Zn, Co, Ni, Cr, Cd отражает правило фракций [4], наблюдается их корреляция с распределением песчано-алевритового и алевритово-пелитового материала (фракции 0.09–0.063 мм и менее 0.063 мм соответственно). Максимальные концентрации свинца сосредоточены в верхних горизонтах разреза 75–50; 10–0 см (17 и 7% соответственно). Минимум содержания Pb наблюдается на горизонте 125–75 см (1–3%). На остальных горизонтах его содержание колеблется от 6 до 2%. Аккумулятором свинца в данном случае являются осадки с максимальным количеством органики и наличием тонких фракций. Из песчаных хорошо сортированных толщ свинец будет вымываться.

Сравнение наших данных по химическому составу осадков с кларковыми значениями для почвообразующих пород Земландского полуострова по О.А. Анциферовой [1] показало, что они впол-

не соответствуют выделенным литологическим типам осадков и отражают основные фациальные различия. При этом большинство данных по пескам логнормальной группы вполне отвечает кларковым интервалам для эоловых песков Куршской и Балтийской кос, либо близки к ним (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование геологического разреза позволило выделить ряд особенностей, которые обусловлены литологией и составом песков.

Неоднородность песчаных толщ. Чередование прослоев алевритового ила с прослоями песка в нижней части разреза фиксирует постепенное наступление песчаных наносов на берег водоема, сформировавшийся около 10 тыс. лет назад, судя по опубликованным данным возраста торфяных прослоев этого участка косы [3], а постепенное увеличение толщины прослоев песка в этой части разреза указывает на резко возросшее поступление песчаных осадков, которое возможно также при наличии вблизи больших аккумулятивных пляжевых тел.

Прослой-маркер. Важным моментом для понимания возможных палеорекопструкций является обнаружение тонкого прослоя крупнозернистого песка на горизонте 259–258 см, который мог являться маркером зоны уреза воды. На это указывают не только его гранулометрические характеристики, но и ровное выдержанное по мощности простираение в видимых пределах разреза. При этом гипсометрическое расположение данного прослоя находится выше современного уреза воды на 238 см. Это означает, что нижезалегающие толщи песка могли сформироваться как мелководные пески гипотетического подводного вала в результате деятельности течений и волновых процессов, в отличие от песков верхней части разреза, которые маркируют развитие эолового разноса.

Наклон прослоев. Для песчаных прослоев изучаемого разреза отмечен наклон в сторону залива в пределах видимой глубины разреза. Исходя из вышеперечисленного, вполне логично предположить, что данный участок берега может являться остатком некоего берегового заливного вала, частично сохранившегося до наших дней. В этом случае прослой крупнозернистого песка может маркировать последующее постепенное понижение уровня воды в лагуне. К сожалению, данных, фиксирующих подобный прослой в толще осадков, удаленных от берега моря, нет. Поэтому наше предположение о слое-маркере уреза воды именно в древней лагуне достаточно условно. В противном случае он может быть маркером временного локального водоема коренного берега или иметь аллювиальный генезис. Но для провер-

ки данного утверждения необходимо дополнительное колонковое бурение.

Отсутствие тонкозернистых фракций. Гранулометрический анализ состава песков показал практически полное отсутствие тонкозернистого материала в пробах. Здесь надо учесть, что разрез располагается на береговом склоне и тонкая фракция могла быть частично вымыта поверхностными водами. Определить настоящую долю тонкодисперсного материала в этих песчаных толщах также может только дополнительное бурение. По гранулометрическим характеристикам пески верхней и нижней части разреза слабо отличаются друг от друга. Несомненно, песок подвергался волнодинамической обработке, это подтверждается его хорошей сортированностью (коэффициент сортировки 1.26–1.57) и низким содержанием алевритово-пелитового материала (<1.5%). Отличие по гранулометрическим параметрам основано на разнице в коэффициентах асимметрии (для песков нижней части разреза он более низкий) и на отношении моды к среднему размеру частиц. Надо признать, что для уверенного разделения изучаемой песчаной толщи этого недостаточно.

Родство минерального состава с составом пляжевых песков. Минеральный состав песков указывает на их пляжевое происхождение и накопление преимущественно в континентальных условиях. Как и в современных песках, он маркируется присутствием глауконита и тяжелых минералов, характерных для пляжевых тел Балтийского моря [3, 7, 9]. Отмеченные горизонты слоистых песков с повышенным содержанием темноцветных минералов (125–100 и 30–10 см) могут быть маркерами усиления штормов [9, 10].

Включения растительных остатков и вторичных преобразований. Характерно высокое содержание растительных остатков и наличие остатков зерен растений в песках верхней части разреза (горизонты 75–10 см). Т.е. шло наступление песков на берег, покрытый растительностью. Также отмечена загрязненность состава песков под воздействием вторичных преобразований. Это касается частичной сцементированности песков, а также присутствия измененных полевых шпатов, черных глауконитов – все это указывает на интенсивные процессы выветривания и оподзоливания, особенно для песков верхней части разреза. Сравнение степени окатанности зерен в неразделенных пробах показало относительно повышенное содержание окатанных зерен кварца и полевого шпата также в песках верхней части разреза (185–0 см).

Химический состав изученных песков отображает состав выделенных ранее при литологическом описании основных фациальных комплексов. Сам состав частично изменен в результате

вторичных процессов, судя по низким содержаниям K, Na и элементов биогенной группы.

Сцементированность прослоев. Отдельное внимание надо обратить на тонкие плотные песчаные прослои темно-коричневого цвета. Они отличаются более высокой степенью сцементированности по отношению к вмещающим их пескам. Один из них представлен пробой 277 см (гор. 285–259 см), в которой найдено большое количество лимонитизированных растительных остатков. По содержанию химических элементов он практически не отличается от вмещающих его песков, но для него характерно относительно повышенное содержание $\text{SiO}_{2\text{ам}}$ и $\text{C}_{\text{орг}}$, что указывает на биогенную природу цемента подобных прослоев (табл. 3, рис. 2). Можно предположить, что эти прослои являются маркерами как минимум 6 периодов, во время которых интенсивность поступления песчаного материала снижалась, и на образовавшемся мелководном заливно-берегу могли активизироваться почвообразующие процессы.

Степень дифференцированности песков. Анализ кластеров гранулометрических, химический данных и данных минерального состава, проведенный по методу одиночной связи, позволил уверенно выделить две группы песков: пески верхней (289–10 см) и нижней (345–289 см) частей разреза (рис. 7). При этом надо отметить, что группы песков в верхней части разреза (гор. 30–10 и 75–50 см) не выделяются в самостоятельный кластер на ранних этапах объединения, в то время как пески нижней части разреза представляют собой практически самостоятельные единицы. Пески горизонтов 258–10 см характеризуются относительно пониженными значениями коэффициента асимметрии (3.9–5.2) и пониженными содержаниями выделенных элементов ($\text{SiO}_{2\text{ам}}$, $\text{C}_{\text{орг}}$, K, Na, Ca, Ni, Cr, Pb, As), в то время как пески горизонтов 345–259 см отличаются высокой волатильностью этих показателей (табл. 3). Надо отметить, что кластерный анализ данных минерального состава не показывает выделение подобных групп. Исходя из этого, можно предположить, что источник песков не сильно дифференцирован на протяжении разреза. Т.е. различия в составе песков должны определяться условиями их формирования, при наличии для них единого источника. Различие заключается в том, что пески верхней части по составу более однородны и сформированы при устойчивом способе накопления и транспортировки. Вполне вероятно, что именно эта часть разреза представлена пляжевыми наносами, при формировании которых большую роль играл и эоловый разнос. Т.е. они являются маркерами этапов наступления песчаных наносов на берег древней лагуны. В отличие от этой группы пески нижней части разреза (345–258 см) формировались при более гетерогенных

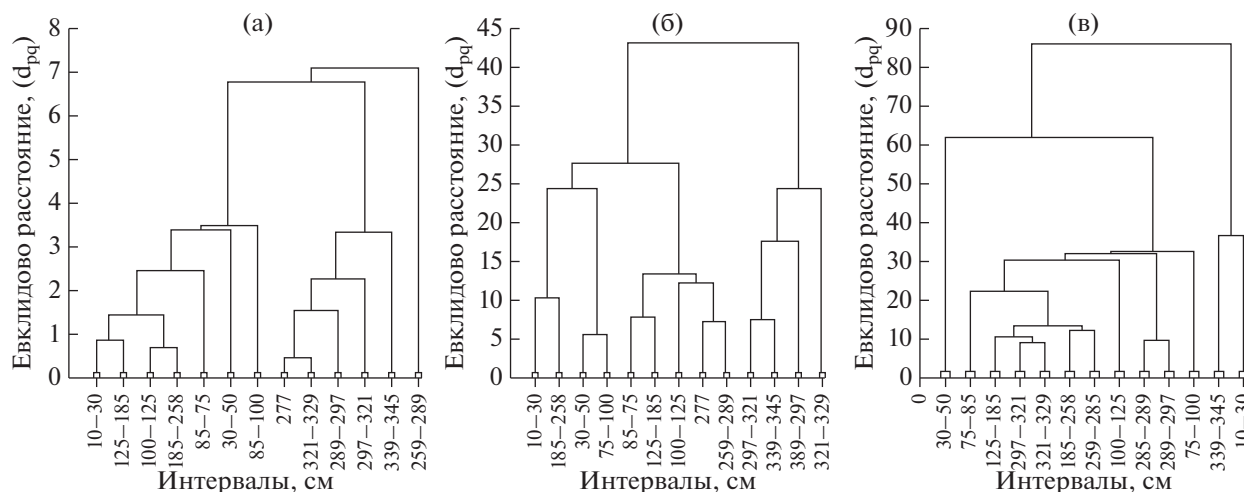


Рис. 7. Кластерный анализ песков группы логнормального распределения по методу одиночной связи (“ближайшего соседа”) (анализ проведен по нормированным к 100% данным): а – данные granulометрических параметров по методу Фолка, Варда [12], б – данные химического анализа, в – данные минерального анализа.

условиях, связанных не только с расширением пляжевых тел, но и с непосредственным участием волновых процессов на мелководье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены новые данные по granulометрическому, химическому и минеральному составам береговых песчаных отложений песчаных отложений геологического разреза CS 024 на Куршской косе, которые представляют интерес для понимания процессов формирования данного участка косы и возможных палеорекопструкций.

Изученные пески не являются однородными по составу, хотя и достаточно близки по выделенным параметрам. При этом велика вероятность вторичного изменения состава песков в результате процессов выветривания, на что указывает и низкая доля материала тонких фракций и низкие значения элементов биогенной группы, включая также К и Na.

Состав песков не соответствует водно-ледниковым пескам, что не согласуется с данными Е.Н. Бадюковой [3]. Но, вполне вероятно, это пески коренного берега, подвергшиеся гидродинамической обработке и сформировавшиеся как часть прибрежно-морских наносов.

Дифференциация песчаной толщи на нижнюю и верхнюю часть относительно прослоя-маркера может отражать разные этапы генерации песчаной толщи: от предполагаемого мелководного вала, образованного при поднятии уровня моря, до пляжевых золотых песков. Наличие темно-коричневых тонких прослоев песка может указывать на периоды относительного уменьшения поступления песчаного материала на берег.

Источники финансирования. Работы выполнены в рамках госзадания ИО РАН № FMWE-2021-0016.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории геологии Атлантики за проведение минерального, granulометрического и химического анализов: ст. лаборанту с ВПО С.М. Исаченко, аналитикам Д.Н. Ласкиной, М.И. Садовской, вед. инженеру А.А. Лихиной, ст. лаборанту Е.П. Жолинской, а также научному сотруднику, к.г.н. Т.В. Напреенко-Дороховой за помощь в организации экспедиционных работ и ценные замечания и младшему научному сотруднику Л.А. Кулешовой за помощь в оформлении иллюстраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анциферова О.А. Геохимия элементов в почвах Земландского полуострова. Калининград. Изд. ФГБОУ ВПО “КГТУ”, 2013. 222 с.
2. Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Геолого-геоморфологическое строение Куршской косы и некоторые этапы истории ее развития // Геоморфология. 2006. № 3. С. 37–48.
3. Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Строение корневой части Куршской косы // Вестник Моск. университета. Сер. 5. 2010. № 5. С. 53–59.
4. Емельянов Е.М. Биогенные компоненты в осадках Балтийского моря // Геология и геохимия нефти и газа. 2014. Т. 55. № 12. С. 1759–1774.
5. Блажчишин А.И. Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 160 с.
6. Котельников Б.Н. Реконструкция генезиса песков: Гранулометрический состав и анализ эмпирических полигонов распределения / Под ред.

- В.Н. Шванова. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1989. 132 с.
7. *Сергеев А.Ю.* Палеогеографическая реконструкция района Куршской косы в позднем неоплейстоцене-голоцене // Региональная геология и металлогения. 2015. № 62. С. 34–44.
 8. *Харин Г.С., Жуковская И.П.* Типы осадков и разрезов верхнечетвертичного чехла и геологическая устойчивость Куршской косы (Балтийское море) // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 3. С. 215–233.
 9. *Харин Г.С., Жуковская И.П., Ерошенко Д.В.* Новые данные о геологии зоны сочленения Куршской косы и Самбийского полуострова // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия Национального парка “Куршская коса”. 2012. Вып. 8. С. 193–202.
 10. *Харин Г.С., Жуковская И.П., Исаченко С.М., Ерошенко Д.В.* Рудоносные пески в осадках Куршской косы (Балтийское море) // Океанология. 2021. Т. 61. № 1. С. 132–140.
 11. *Шванов В.Н.* Песчаные породы и методы их изучения. Л.: Недра, 1969. 248 с.
 12. *Blott S.J., Pye K.* Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments // Earth Surf. Process. Landforms. 2001. № 26. P. 1237–1248.
 13. *Wentworth C.K.* A scale of grade and class terms for clastic sediments // Journal of Geology. 1922. V. 30. P. 377–392.

On the development of Sand Deposits in the Southern Part of the Curonian Spit

D. V. Eroshenko^{a, b, #}, M. G. Napreenko^{a, b, ##}, E. V. Dorohova^{a, b}, G. S. Kharin^a,
I. P. Zhukovskaya^{c, ###}, L. D. Bashirova^{a, b}

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

^c*“Curonian Spit National Park”, Rybachy village, Kaliningrad region, Russia*

[#]*e-mail: aoio@rambler.ru*

^{##}*e-mail: maxnpr@gmail.com*

^{###}*e-mail: nehrung2@mail.ru*

As part of paleogeographic studies on the Curonian Spit (geological section GS 024), a coastal section was studied from the sea in the area of the village Lesnoy in the place where relic lagoon oozes come out. The granulometric, chemical and mineral compositions of slope sands were studied for the first time. The heterogeneity of the conditions for the formation of sand strata was confirmed. A high probability of a secondary change in the composition of sediments as a result of weathering processes was revealed. The results of the study indicate a gradual advance of sand deposits on the coastal part of the lagoon, which began about 10 thousand years ago. Differentiation of the sand stratum into the lower and upper parts relative to the interlayer-marker of coarse-grained sand identified in the section may reflect different stages of generation of the sand stratum: from the supposed shallow swell formed during sea level rise to beach and eolian sands.

Keywords: Curonian Spit, beach sand, paleoreconstruction, gyttiae, glacial mud, geochemistry, granulometry