

Санкт-петербургский государственный университет

*ПЕТРОВ Денис Валерьевич*

Выпускная квалификационная работа

*«Растительность и климат позднего голоцена о. Врангеля»*

Уровень образования:

Направление 05.04.02 «География»

Основная образовательная программа ВМ.5778.2018

*«Структура, динамика и охрана ландшафтов»*

Научный руководитель:

доцент каф. геоморфологии

Института Наук о Земле, к.г.н.,

Савельева Лариса Анатольевна

Рецензент: в.н.с.

СВКНИИ ДВО РАН, к.г.н.

Вартанян Сергей Леонович

Санкт-Петербург

2020

1

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Физико-географический очерк острова Врангеля.....	5
1.1. Геологическое строение и рельеф.....	5
1.2. Четвертичные отложения.....	9
1.2.1. Морские отложения.....	10
1.2.2. Аллювиальные отложения.....	10
1.2.3. Озёрно-болотные отложения.....	11
1.2.4. Отложения ледникового и водно-ледникового генезиса.....	11
1.2.5. Отложения склонового ряда.....	11
1.3. Растительность.....	13
1.4. Климат.....	18
Глава 2. История изучения острова Врангеля.....	20
2.1. История палеогеографических исследований.....	20
2.2. Палеоботаническая изученность.....	22
2.3. Археологические исследования.....	23
Глава 3. Результаты палинологических исследований.....	24
3.1. Разрез 103 (р. Гусиная).....	25
3.2. Разрез 82 (р. Тундровая).....	31
3.3. Разрез 23 (р. Хищников).....	34
Глава 4. Реконструкция растительности и климата о-ва Врангеля в позднем голоцене на основе данных спорово-пыльцевого анализа.....	40
4.1. Разрез №103.....	40
4.2. Разрез №23.....	41
4.3. Разрез №82.....	42
4.2. Природная среда позднего голоцена острова Врангеля: растительность, климат и мамонты.....	44
Заключение.....	49
Список литературы.....	50

## **Введение**

Остров Врангеля, находящийся на крайнем северо-востоке России, до начала 90-х гг. привлекал мало внимания геологов-четвертичников. Всё изменилось, когда костные останки врангелевских мамонтов впервые были продатированы радиоуглеродным методом. Полученный голоценовый возраст изменил представления о вымирании плейстоценовой мегафауны в северном полушарии и вызвал небывалый исследовательский интерес к острову Врангеля, который геологи и палеогеографы на протяжении нескольких десятков лет практически не удостоивали внимания (Vartanyan et al., 1993; Вартанян, 2007).

За последние 30 лет, учёным удалось значительно продвинуться в изучении рефугиума мамонтов на острове, однако многие вопросы вплоть до сегодняшнего дня остаются дискуссионными.

Один из методов, который позволяет получить сведения о растительности и климате прошлого является спорово-пыльцевой анализ. Именно он был выбран для изучения голоценовых отложений о-ва Врангеля с целью уточнения или получения новых сведений о среде обитания мамонтов.

С целью охарактеризовать изменение растительности и климата острова Врангеля в позднем голоцене, был проведён спорово-пыльцевой анализ отложений одного разреза и построено две новые диаграммы по материалам, предоставленным в.н.с. СВКНИИ ДВО РАН, к.г.н. С.Л. Вартаняном.

В рамках исследования, были поставлены следующие задачи:

1. Сбор и анализ опубликованных материалов по теме исследования.
2. Проведение спорово-пыльцевого анализа отложений.
3. Статистическая обработка аналитических материалов, полученных другими исследованиями, построение спорово-пыльцевых диаграмм.
4. Проведение сравнительного анализа динамики растительности и климата в позднем голоцене острова Врангеля, уточнение динамики развития растительных сообществ.

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана им. В.П.

Кёппена, где были обработаны и проанализированы пробы: заведующему лабораторией д.г.-м.н. Кузнецову В.Ю., научным сотрудникам к.г.н. Максимова Ф.Е., Григорьеву В.А., Петрову А.Ю., сотрудникам ресурсного центра СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования», где были проведены работы в рамках проекта № 103-11718.

Также автор выражает благодарность студентам кафедры геоморфологии СПбГУ Аксёнову А.О., Костроминой Н.А., Соловьёвой Д.А. за ценные советы и консультации.

Отдельную благодарность хотелось бы Савельевой Ларисе Анатольевне за мудрое и справедливое научное руководство.

# Глава 1. Физико-географический очерк острова Врангеля

## 1.1. Геологическое строение и рельеф

Остров Врангеля расположен в восточном секторе российской Арктики на границе Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Его площадь превышает 7,7 тыс. км<sup>2</sup>, максимальная протяжённость с севера на юг составляет 50 км, с запада на восток около 150 км. От материка остров отделён проливом Лонга, ширина которого в самой узкой части составляет 145 км.

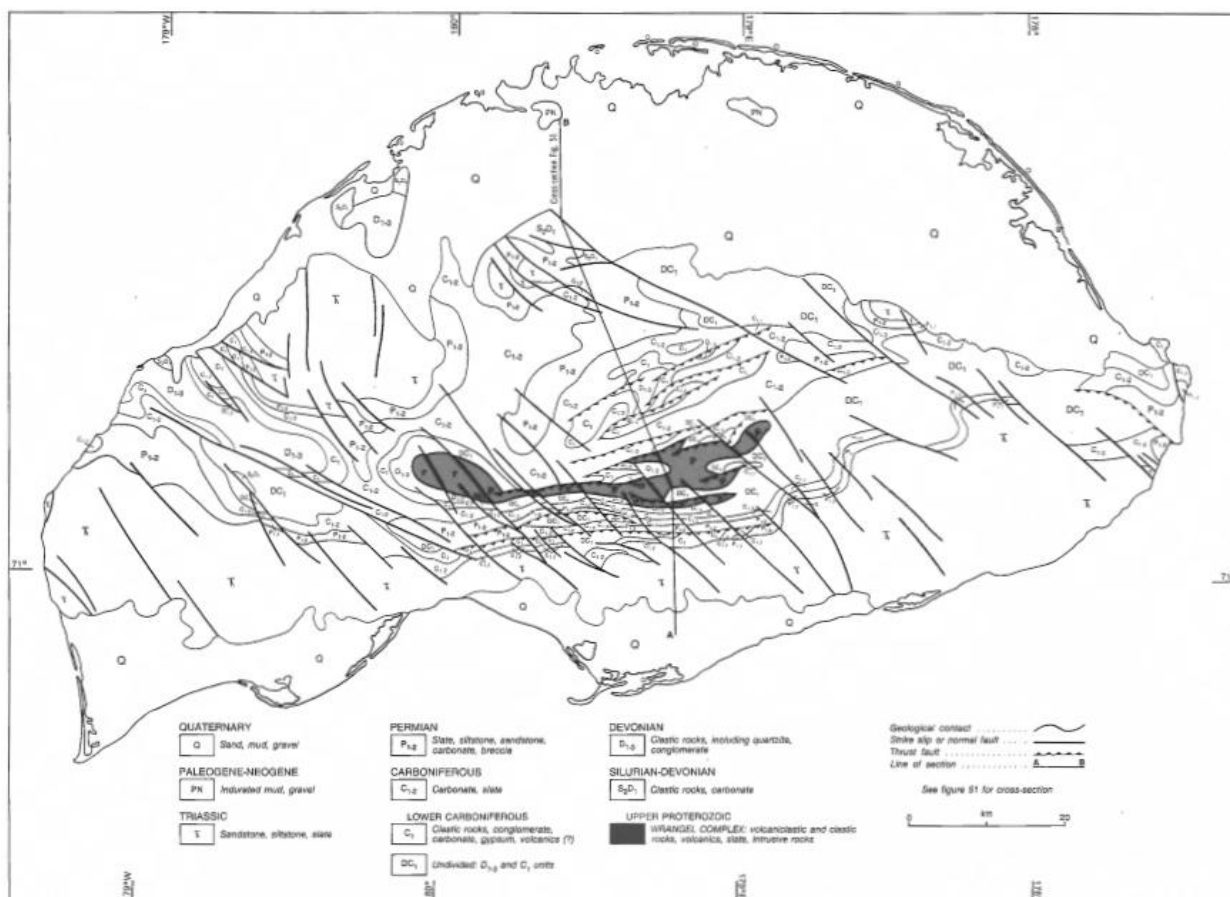


Рис. 1 Схема геологического строения острова Врангеля (Kos'ko et al., 1993).

Рельеф горной части острова был сформирован в конце позднего мела – в начале палеогена. Начиная с этого времени, эта территория непрерывно находилась в субаэрльном положении, что привело к глубокому эрозионно-денудационному врезу (Авдюничев, 1990; Kos'ko et al., 1993).

Остров Врангеля представляет собой останец позднемезозойской горной цепи. В структурно-тектоническом плане это изоклиналильные, опрокинутые на север складки, которые падают на юг. Ядра наиболее крупных антиклиналей, опрокинутых на север, сложены докембрийскими породами, а крылья - палеозойскими отложениями, в южной

части верхнетриасовыми. Породы на большей части территории острова моноклиально падают на юг (рис. 1). Широко развиты надвиги (Авдюничев, 1990).

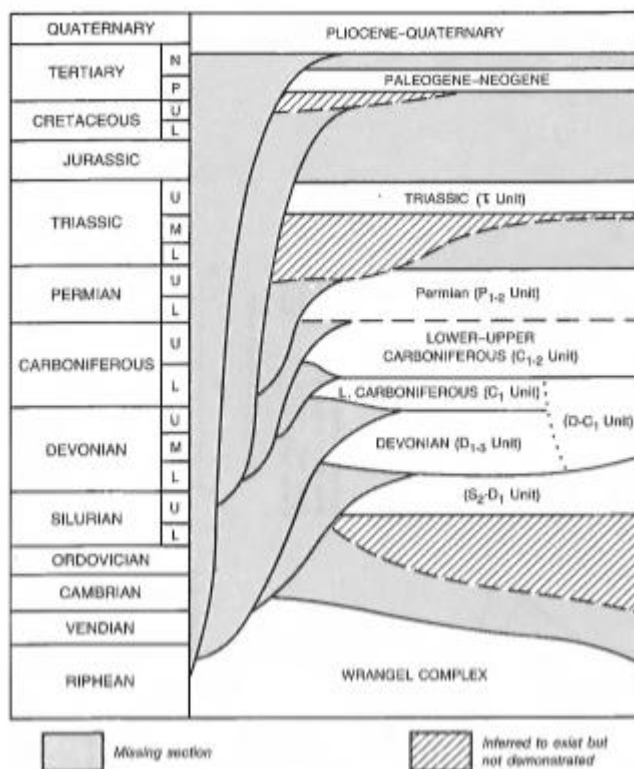


Рис. 2 Сводный стратиграфический разрез о-ва Врангеля (Kos'ko et al., 1993).

Сводный геологический разрез острова Врангеля (рис. 2) имеет следующий вид:

В основании залегают метаморфизованные верхнепротерозойские породы т.н. Врангелевского комплекса, которые состоят из сильно дислоцированных обломочных пород, присутствуют редкие линзы карбонатных пород. В комплекс также входят интрузивные тела гранитоидов и базитов.

Выше залегают метаморфизованные средне-верхнепалеозойские породы. Перекрывающие их позднесилурийские-раннедевонские осадки представлены двумя различными толщами: терригенной и существеннокарбонатной. Верхний палеозой (каменноугольные и пермские отложения) представлен карбонатными, глинистыми и терригенными породами, сменяющими друг друга в сводном разрезе. Триасовая толща сложена исключительно обломочными породами.

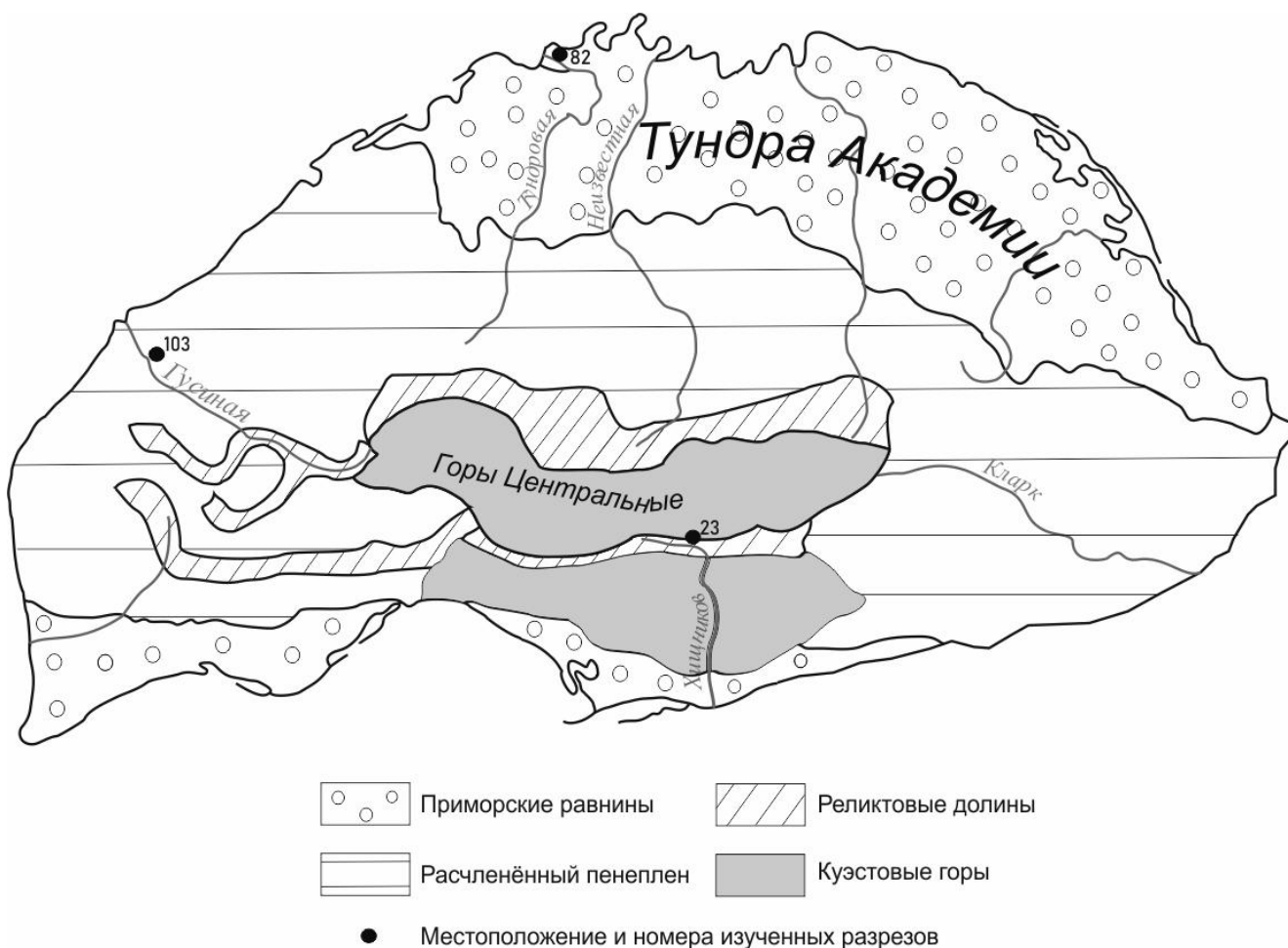


Рис. 3 Орографическая схема о-ва Врангеля (по: Кирюшина, 1964).

В морфоструктурном отношении на острове выделяются три обособленные области: на севере низменная приморская равнина Тундры Академии, на юге низменная и приподнятая приморская равнина Южной Тундры; морфоструктуры горных сооружений, протягиваются широкой полосой в центральной части острова (рис. 3). Суммарные амплитуды поднятий приморских областей достигают 50 м.

Рельеф приморской равнины Тундры Академии ровный, сглаженный. Ее абсолютные высоты от 60-80 м у тылового шва постепенно уменьшаются на север к берегу моря. Северный берег острова довольно сильно изрезан, с глубоко вдающимися с суши лагунами в дельтах рек. Береговой склон сглажен за счет интенсивных процессов термоабразии (Авдюничев, 1990; Вартанян, 2007).

Приморская равнина Южной тундры узкой (до 10-15 км) полосой протягивается южнее горных массивов. По морфологическим особенностям и абсолютной высоте равнину можно разделить на Юго-Восточную приподнятую (от г. Гавайи до зал. Красина) и Юго-Западную низменную (от зал. Красина до м. Блоссом - м. Фомы). Современный берег

слабо изрезан, береговой уступ высотой до 10-20 м сложен коренными породами. Большинство ручьев врезаны до 1,5-2 м, а реки Хищников, Атертон, Наша - до 3-4 м. Ширина этих долин достигает 50-100 м. В приустьевых частях крупных рек (Кларк, Наша и др.) развиты дельты с лагунами, отчлененными от моря барами, сложенными галькой, гравием и обломками пород (Авдюничев, 1990).

Область горных сооружений характеризуется наибольшим разнообразием поверхностей и склонов: структурно-денудационные, денудационные, денудационноэрозионные, абразионные и абразионно-денудационные, денудационные поверхности выравнивания и педименты, эрозионный и аккумулятивный рельеф речных долин, делювиально-пролювиальные шлейфы. Наибольшие высоты рельефа (до 1000 м) и относительные превышения (до 700 м) характерны для гор Центральных, Евстафеева, Мамонтовых, Минеева. В центральной части области широко развит куэстообразный рельеф (Авдюничев 1990, Кирюшина 1964).

Широко развиты на острове мерзлотные и термокарстовые формы рельефа. В горной части распространены нагорные террасы, различные солифлюкционные формы и трещино-полигональные образования. В пределах равнин распространены пятна-медальоны, широко развиты термокарстовые процессы, выраженные в миграции озёр, которые на острове представлены мелкими водоёмами (до 1 м) без сквозных таликов (Авдюничев, 1990; Вартанян, 2007).



## 1.2. Четвертичные отложения

Четвертичные отложения различного генезиса широко распространены на острове Врангеля. Они имеют неравномерные мощности: так, на склонах гор они варьируют в пределах от 0,5 до 5 м, в предгорьях до 15 м, а в пределах северной приморской равнины их мощность может достигать 20-25 м.

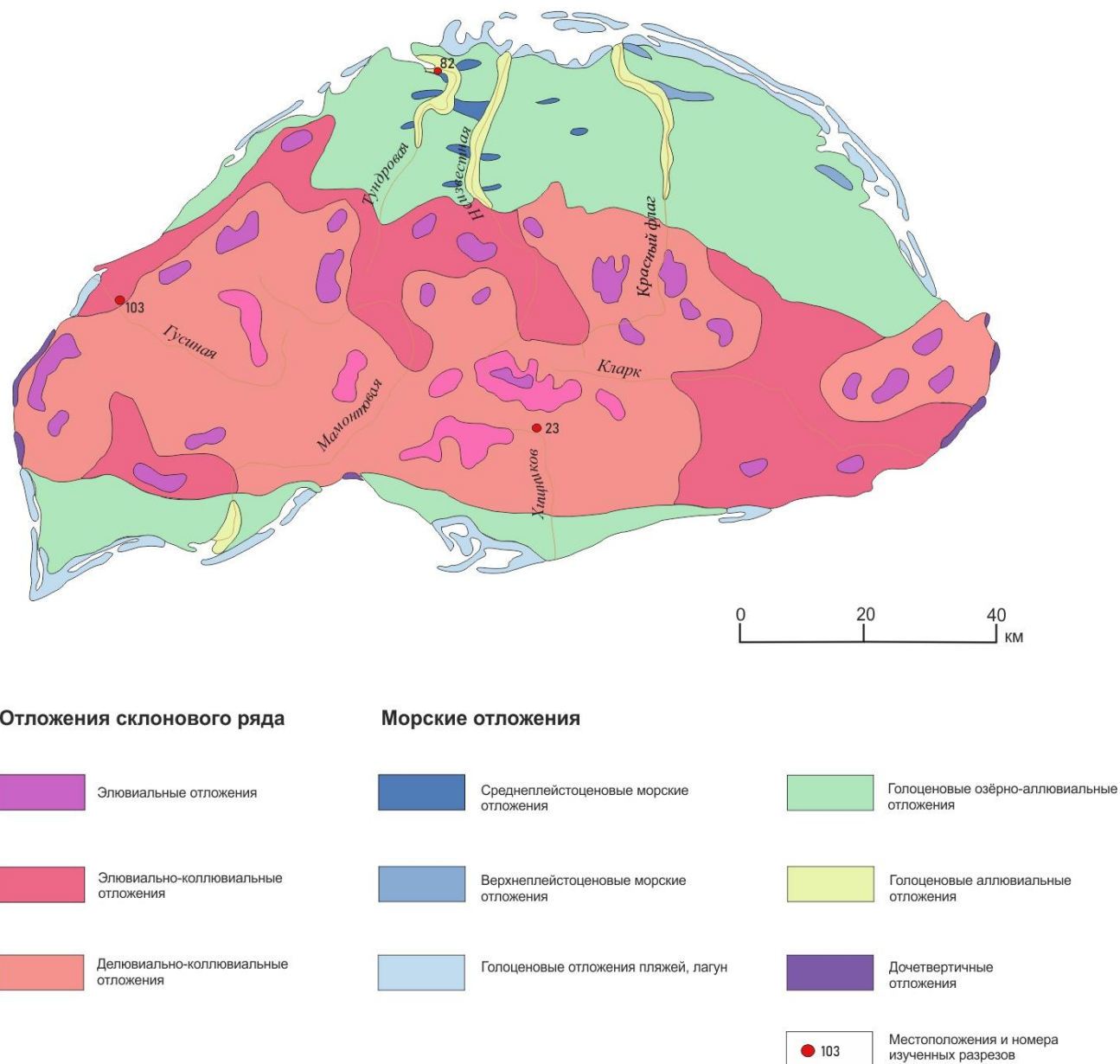


Рис. 4 Схема четвертичных отложений о-ва Врангеля (составлено автором на основе государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 второго и третьего поколений).

Наибольшую площадь распространения имеют склоновые и солифлюкционные образования (рис. 4), широко распространённые в гористой части острова (Вартанян 2007). На приморских равнинах распространены морские отложения, как современные,

так и древние. В долинах рек представлены аллювиальные, озёрно-болотные отложения, в обнажениях которых встречаются горизонты ископаемого торфа.

### **1.2.1. Морские отложения**

Современные морские отложения широко распространены в южной и северной частях острова. Они сложены галечно-гравийным, песчано-гравийным материалом и песчаным материалом, в фациальном отношении представлены косами, пляжами, береговыми валами.

Самые древние морские осадки слагают переработанную речной эрозией и термокарстовыми процессами морскую террасу высотой от 25 до 40 м, расположенную в низменности Тундра Академии. Останцы террасы, сложенные прибрежно-морскими алевритами, песками, гравием, представляют собой пологие возвышенности, являющиеся локальными водоразделами. Это самые древние четвертичные отложения, обнаруженные на острове на сегодняшний день. По данным различных методов датирования (ЭПР, ОСЛ, аминокислотные соотношения) их возраст варьирует в пределах от 459,000 до 780,000 л.н. В обнажениях береговых обрывов рек морские осадки часто перекрыты аллювием, торфяниками или озёрно-термокарстовыми отложениями (Вартанян, 2007; Gualtieri, 2003). Более молодые морские осадки представлены палеобарами, выраженные в рельефе грядами высотой до 5-7 м. Часто к ним со стороны суши примыкают депрессии рельефа – древние лагуны (Вартанян, 2007).

В пределах южной морской равнины присутствуют фрагменты морской террасы высотой до 4-7 м (Вартанян, 2007).

### **1.2.2. Аллювиальные отложения**

Речные отложения широко распространены в пределах долин современных рек, также они образуют аллювиальные конусы выноса в предгорных частях равнин. Наиболее распространены галечно-гравийные русловые фации аллювия. Для крупных рек острова Врангеля характерно наличие не более двух аккумулятивных или озёрно-аккумулятивных террас, а также высокой и низкой пойм.

Реки, пересекающие Тундру Академии на западе имеют хорошо выраженные древние долины в пределах равнины. Реки восточной части тундры академии напротив, текут по равнине практически без вреза и имеют молодые голоценовые долины (Вартанян, 2007).

Аллювиальные конусы выноса образуют мощный чехол рыхлых отложений в предгорных частях равнин и межгорных котловинах. Наиболее древние и мощные аллювиальные конусы выноса расположены в южной части тундры академии, а также в центральной и западной частях южной приморской равнины (Вартанян, 2007).

### **1.2.3. Озёрно-болотные отложения**

На острове широко развиты термокарстовые озёра глубиной до 1 м, под которыми не образуется сквозных таликов. Водоёмы часто меняют свои очертания и мигрируют. Мощность современных озёрных отложений составляет не более полуметра. Древние озёрные отложения развиты в пределах равнин и межгорных котловин, по мощности они достигают 1,8 м. Как правило, эти отложения представлены алевритами, послойно обогащёнными органикой. Большинство таких отложений сформировались на рубеже плейстоцена и голоцена (Вартанян, 2007).

Мощности современных торфяников на острове Врангеля не превышают нескольких сантиметров. Погребённые торфяники встречаются на прибрежных равнинах и межгорных котловинах и в долинах крупных рек. Их мощности могут превышать 1 м.

### **1.2.4. Отложения ледникового и водно-ледникового генезиса**

В настоящее время ледники на острове Врангеля отсутствуют. Вопрос о наличии, числе и размерах оледенений в прошлом на протяжении многих десятков лет остаётся дискуссионным (Марков, 1947; Кирюшина, 1964; Вартанян, 2007; Gualtieri, 2005). По данным последних исследований, молодые следы ледниковой экзарации установлены только в восточной части Центральных гор в верховьях реки Кларк. В горной части острова широко распространены флювиогляциальные террасы. Также, в долинах рек и на равнинах встречаются эрратические валуны.

### **1.2.5. Отложения склонового ряда**

Благодаря сплошному распространению многолетнемёрзлых пород на острове, наиболее широко среди всех склоновых процессов распространена солюфлюкция. Делювиально-солифлюкционные отложения развиты на склонах с небольшими углами наклона. На крутых склонах представлены различные виды коллювия, размерность которого меняется в зависимости от свойств субстрата. Такие отложения широко представлены в горной части острова (Вартанян, 2007).

В целом, четвертичные отложения острова Врангеля, несмотря на обширную площадь распространения, характеризуются плохой обнажённостью: отдельные периоды

могут быть не представлены в стратиграфической летописи, или представлены неполно. Например, на острове не обнаружены раннечетвертичные толщи, а отложения голоцена представлены зачастую пролювиальными осадками, которые имеют нестабильный режим седиментации и осадконакопления, сопровождающийся многочисленными перерывами, что затрудняет лабораторные исследования образцов их таких отложений и интерпретацию аналитических данных.

### 1.3. Растительность

Природная среда острова Врангеля характеризуется высокой степенью ландшафтного и видового разнообразия, что вызвано разнообразием рельефа острова (от приморских равнин до гор) и его палеогеографией, а именно существованием в прошлом сухопутного моста между Чукоткой и Аляской. Эти факторы повлияли на формирование уникальной по разнообразию и эндемизму флоры и фауны.

Растительность острова Врангеля достаточно хорошо изучена. Первые ботанические исследования начались здесь ещё в кон. 30-х гг. Общая характеристика растительности острова была дана в работах Городкова (1943, 1958). Исследование флоры и растительности острова начало проводиться на регулярной основе начиная с 1976 года, когда территория острова была объявлена заповедником. За это время здесь поработали представители многих научных институтов (БИН, ИБПС, СВКНИИ). В результате, к настоящему времени ни один арктический архипелаг не может похвастаться такой полной степенью изученности, как остров Врангеля. Согласно многочисленным работам, в списках фигурирует 415 видов сосудистых растений, 237 мхов, 87 печёночников и 309 лишайников (Петровский, 1988; Юрцев, Петровский, 1994;). В последние годы активно изучалась зональность растительного покрова острова (Холод, 2007; 2008; 2013; 2014; 2017).

Среди основных факторов, оказывающих влияние на зональность растительного покрова острова, можно выделить рельеф (от приморских равнин до гор), разнообразие подстилающих пород (гранитоиды, пески, карбонатные породы), широкое распространение криогенных процессов (солифлюкция, мерзлотное пучение, вытаивание полигонов), климат (континентальность, высота снежного покрова). В результате воздействия данных факторов, растительный покров о-ва Врангеля отличается высокой степенью гетерогенности (Холод, 2013, 2017).

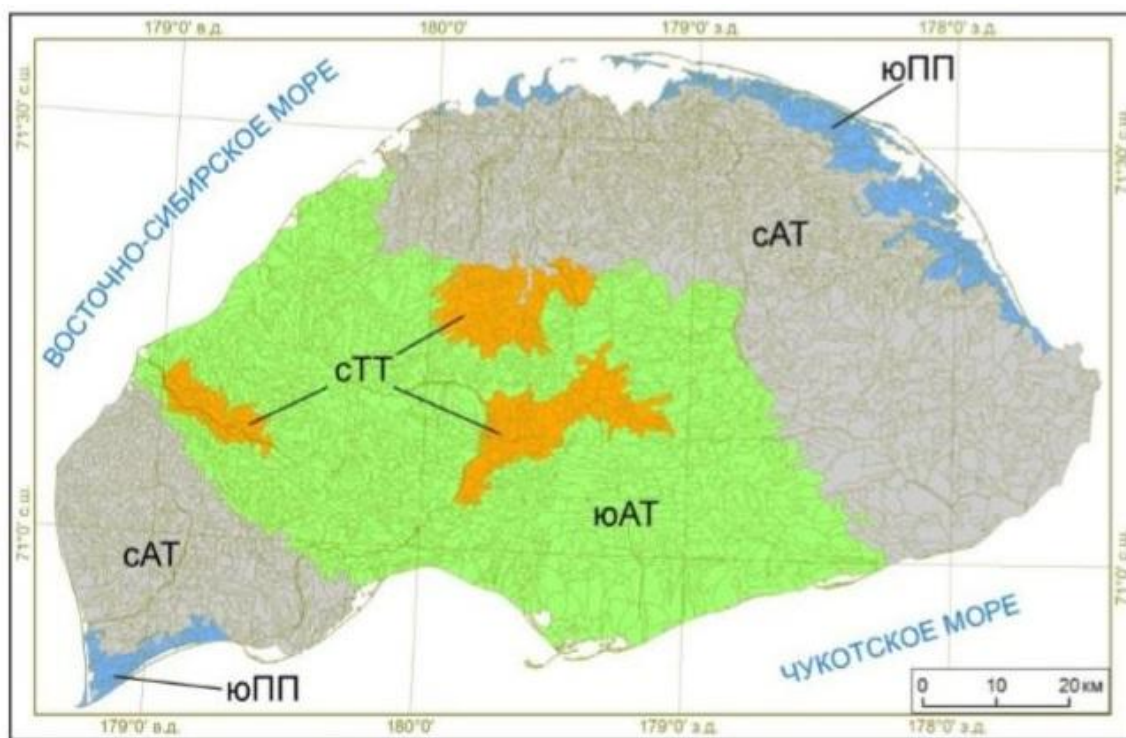


Рис. 5 Схема зональности растительности острова Врангеля на основе сигма-таксонов (Холод, 2017). сТТ – северные типичные тундры; юАТ – южные арктические тундры; сАТ – северные арктические тундры; юПП – южные полярные пустыни.

Территория острова относится к подзоне арктических тундр (Александрова, 1977). Согласно схеме геоботанического районирования Арктики, он относится к Врангелевско-Западноамериканской провинции подобласти арктических тундр, где образует собственную Врангелевскую подпровинцию (Александрова, 1977). Однако в некоторых межгорных котловинах в центральной части встречаются анклавы типичных тундровых сообществ, например, заросли кустарников в поймах рек и в краевых частях водоразделов. Также для типичнотундровых сообществ отмечается большая сомкнутость растительного покрова. К особенностям растительности острова относится наличие на сухих участках склонов южной экспозиции реликтовых тундростепных сообществ с содоминированием криофильных кустарничков и микротермных ксерофильных трав (Юрцев, 1981).

Растительность зоны южных полярных пустынь, распространённых на крайнем северо-востоке и крайнем юго-западе острова, представляет собой несомкнутые валики мхов между полигонами и пятнами а также отдельные ковры. На низких внутригорных плато и надпойменных террасах здесь распространены травяно-моховые-лишайниковые группировки с *Thamnia vermiculari*, *Cetraria islandica*, *Cladina arbuscula*, *Dicranum spadiceum*, *Dicranoweissia crispula* (Холод, 2007; 2017).

На водоразделах растительность зоны полярных пустынь представлена злаково-моховыми сообществами с *Deschampsia borealis*, *Alopecurus alpinus*, *Oncophorus wahlenbergii*, *Aulacomnium turgidum* и др.

Растительность тундр представлена гораздо шире в силу большей площади распространения данной зоны на острове, а также в силу присутствия явления высотной поясности.

Эта природная зона занимает самую большую площадь на острове. Центральная и южная часть острова относятся к южной полосе арктических тундр. Северный тип этой зоны распространен в северо-восточной и юго-западной частях острова (Холод, 2017).

Северный вариант этой подзоны а водораздельных поверхностях представлен лишайниково-мохово-ивовыми тундрами (*Salix polaris*, *Hylocomium splendens*, *Racomitrium lanuginosum*, *Deschampsia borealis*, *Alopecurus alpinus*)(Холод, 2007).

В долинах рек и ручьёв, в термокарстовых понижениях распространены мохово-ивовые (*Salix polaris*, *Tomentypnum nitens*, *Ditrichum flexicaule*) тундры, пушице-осоково-моховые (*Sphagnum subsecundum*, *Carex aquatilis*, *Eriophorum polystachion*, *Eriophorum scheuchzer*) болота, а также мохово-злаковые-ивовые тундры (*Salix polaris*, *Alopecurus alpinus*, *Deschampsia borealis*).

На карбонатном субстрате в северном подтипе арктических тундр на острове Врангеля встречаются разнотравно-ивовые (*Salix rotundifolia*, *Lagotis glauca*, *Bistorta elliptica*, *Artemisia arctica*) и травяно-дриадовые сообщества (*Dryas integrifolia*, *Saxifraga oppositifolia*)(Холод, 2007).

Южный вариант арктических тундр на водоразделах и склонах представлен мохово-травяно-дриадовыми тундрами (*Dryas punctata*, *Lagotis glauca*, *Saussurea tilesii*, *Ditrichum flexicaule*), на плакорах и террасах разнотравно-ивово-дриадовыми (*Salix glauca callicarpaea*, *Minuartia macrocarpa*)(Холод, 2007).

На карбонатах распространены мохово-дриадовые тундры с ивами (*Dryas integrifolia*, *Salix rotundifolia*, *Saxifraga oppositifolia*) на водоразделах и осоками (*Carex misandra*) в понижениях.

Также здесь широко распространены травяно-моховые тундры, которые представлены ивово-осоково-иоховыми тундрами (*Hylocomium splendens*, *Carex lugens*,

*Salix reptans*, *Arctagrostis latifolia*), иногда со злаками и разнотравьем (*Carex lugens*, *Tomentypnum nitens*, *Alopecurus alpinus*).

На низких высотных уровнях произрастают травянисто-моховые (*Eriophorum russeolum*, *Dupontia fisheri*), осоково-дриадово-моховые тундры с ивами (*Aulacomnium palustre*, *Tomentypnum nitens*, *Dryas punctata*, *Carex lugens*, *Salix pulchra*).

Разнотравно-ивово-злаковые ассоциации на аккумулятивных равнинах представлены травянистыми (*Deschampsia borealis*, *Luzula confusa*, *Alopecurus alpinus*, *Artemisia arctica*) группировками. На более высоких поверхностях травяно-моховыми (*Warnstorfia exannulata*, *Dupontia fisheri*, *Eriophorum scheuchzeri*), разнотравными тундрами (*Papaver radicum*, *Artemisia borealis*, *Cerastium beeringianum*, *Draba subcapitata*), травянистыми сообществами (*Artemisia arctica*, *Deschampsia borealis*).

Ограниченное распространение в центральной части острова имеют типичные тундры, а именно их северный вариант. Эта зона представлена, в основном, ивняками, среди которых выделяются ивняк разнотравный (*Salix glauca* subsp. *glauca*, *Oxytropis wrangelii*, *Parrya nudicaulis* subsp. *septentrionalis*), ивняк дриадово-осоково-разнотравный (*Salix glauca*, *Carex lugens*, *Dryas punctata*).

Широкое распространения на острове Врангеля имеет растительность т.н. азональных местоположений (Холод, 2007), а именно:

- Тундрово-болотная растительность, широко распространенная в пределах Тундры Академии и южной приморской равнины. В основном, представлена травяно-осоково-моховыми тундрами и болотами (*Sphagnum squarrosum*, *Warnstorfia sarmentosa*, *W. exannulata*, *Limprichtia revolvens*, *Carex stans*, *Eriophorum scheuchzeri*, *Rumex arcticus*).

- Нивальная растительность, распространенная в районе накопления снежников в центральных частях острова. Данный тип растительности чаще всего представлен травянисто-мохово-лишайниковыми сообществами (*Cetrariella delisei*, *Dicranum spadiceum*, *Alopecurus alpinus* subsp. *borealis*, *Stellaria edwardsii*) иногда с участием дриады *Dryas punctata*.

- Галофитная растительность, распространённая на приморских косах, берегах лагун, в приустьевых частях рек. Разреженные травянистые группировки (*Puccinellia phryganodes*, *Stellaria humifusa*, *Cochlearia groenlandica*, *Carex ursina*, *Saxifraga arctolitoralis*)



- пойменная растительность, представляющая собой разреженные травянистые группировки (*Chamerion latifolium*, *Artemisia borealis*, *Artemisia glomerata*, *Stellaria edwardsii*) с фрагментами тундровой растительности на пойме (*Dryas integrifolia*, *Carex stans*, *Carex membranacea*, *Salix lanata*).

В центральной части острова, на высотах от 200 м распространены различные разреженные группировки лишайников и мхов с сосудистыми растениями (*Alectoria nigricans*, *Bryocaulon divergens*, *Saxifraga firma*, *Minuartia macrocarpa*, *Oxytropis wrangelii*, *Campanula uniflora*, *Armeria arctica*...)(Холод, 2007).

#### 1.4. Климат

Главными факторами, оказывающими влияние на формирование климата острова Врангеля являются:

- высокоширотное географическое положение, определяющее радиационный баланс;
- особенности циркуляции атмосферы, а именно преобладание холодных масс арктического воздуха большую часть года;
- островное положение (воздействие водных масс).

Климат острова характеризуется как арктический морской. Присутствует явление полярного дня и полярной ночи: они длятся с 19.05 по 26.07 и с 18.10 по 25.01 соответственно. Таким образом, в летний период из-за высокой прозрачности атмосферного воздуха наблюдается высокое значение поступающей солнечной радиации, но при этом в течение полугода (с октября по апрель) радиационный баланс имеет отрицательные значения. Среднегодовой радиационный баланс положительный и составляет 23,8 ккал/см<sup>2</sup>. Альбедо изменяется в пределах от 15-17 % в летнее время до 75% в зимний период (Леонтьева, 1937).

Большую часть года над островом господствуют холодные массы арктического воздуха, отличающиеся низким содержанием влаги. Кроме них, над островом иногда проходят тихоокеанские воздушные массы, более тёплые и влажные. Обильные снегопады выпадают здесь в основном при южных (тихоокеанских) циклонах, так как западные циклоны приходят сюда уже ослабленными и приносят мало осадков (Леонтьева, 1937).

В центральных (горных) областях острова, климат более континентальный. Это выражается в более высоких летних температурах (Скрыльник, 1976).

Также для острова Врангеля характерны большие различия между температурой воздуха и поверхности в летний период (Грищенко, Чернулич, 2019), что вызвано большой площадью открытого грунта.

Табл. 1 Метеорологические характеристики о-ва Врангеля.

Месяц	Средняя температура, °С	Осадки, мм	Средняя скорость ветра, м/с	Относительная влажность воздуха, %
Январь	-23,3	21	5,9	87
Февраль	-24,9	12	6,0	86
Март	-23,6	12	5,2	86
Апрель	-16,6	14	4,6	86
Май	-7,1	16	4,3	87
Июнь	+0,4	16	3,8	89
Июль	+2,4	22	4,3	90
Август	+1,9	24	4,1	92
Сентябрь	-1,1	16	5,7	89
Октябрь	-7	16	7,1	86
Ноябрь	-15	22	8,0	85
Декабрь	-21,3	18	7,5	87
Год	-11,3	209	5,5	88

Табл. 2 Годовая динамика снежного покрова на о-ве Врангеля (Кононова, 2012).

Средняя дата установления/схода снежного покрова	Средняя продолжительность залегания снежного покрова, дни	Средняя мощность снежного покрова, см
18.10/28.05	223	17

## **Глава 2. История изучения острова Врангеля.**

### **2.1. История палеогеографических исследований**

Первые общие сведения о геоморфологии и палеогеографии острова Врангеля были опубликованы геоморфологом В.П. Кальяновым в нач. 30-х гг. (Кальянов, 1934). Им были отмечены основные черты геоморфологического строения острова, собраны коллекции геологических образцов, проложены профили по речным долинам. С.В. Обручев, выполняя совместно с К.А. Салищевым работы по аэрофотографической съёмке, производил геоморфологические наблюдения, в результате которых было установлено наличие на острове, как минимум, двух хребтов (Обручев, 1933). В 1937 году в составе экспедиции, организованной Академией Наук СССР на о. Врангеля побывал известный палеогеограф, в последствие академик, К.К. Марков. Экспедиция была организована с целью вывезти с острова обнаруженный зимовщиками труп мамонта. Несмотря на то, что «мамонтом» оказался частично разложившийся труп кита, участниками экспедиции были получены первые данные об орнитофауне, геологическом строении, минералогическом составе пород острова и т.д. (Сулейманов, 2012; Урмина, 2018), кроме того, история этой экспедиции легла в основу рассказа В.А. Обручева «Происшествие в Нескучном саду», по сюжету которого мамонт, привезённый с острова Врангеля, оттаивает из мёрзлого состояния и начинает гулять по парку, чем сильно удивляет жителей Москвы конца тридцатых годов.

С самого начала изучения острова в кон. 30-х гг. исследователи высказывали разные суждения о его четвертичной истории (Колосов, 1947). Так, С.В. Обручев и В.П. Кальянов указывали на то, что остров подвергался сплошному покровному оледенению в «недавнем прошлом»; этот вывод был сделан, исходя из сглаженных очертаний гор (Кальянов, 1934). К.К. Марковым следов оледенения на о. Врангеля обнаружено не было (Марков, 1947). При этом все исследователи отмечали, что в недавнем геологическом прошлом остров был частью суши, о чём был сделан вывод на основании общности геологического строения острова и флористическому составу, схожему с Чукоткой и Аляской. Кроме того, все исследователи отмечали большое количество костных остатков животных мамонтового комплекса в речных долинах и прибрежных районах.

Основным недостатком раннего изучения острова было практически полное отсутствие аналитических исследований за исключением геоморфологического профилирования. Многие выводы основывались только на проведении аналогий с соседними регионами или на геоморфологических наблюдениях.

В дальнейшем исследователи продолжали указывать на разное число и разный характер оледенений острова (Сватков, 1962).

Первые попытки систематизации фактического материала были сделаны в 60-х гг. (Кирюшина, 1965), исследователями высказывались суждения о наличии на острове Врангеля следов 3-х оледенений (среднечетвертичного, зырянского и сартанского).

В кон. 80-х гг. сотрудниками ВНИИОкеангеология Авдюничевым В.В. и Володиным В.Е. на острове производились геоморфологические наблюдения, шлиховое опробование, палеоботанические исследования палеогеновых и неогеновых осадков. В результате анализа обстановок седиментогенеза и рельефообразования прошлого, для четвертичной системы было указано, что в раннем и среднем плейстоцене на острове существовало маломощное пассивное оледенение, уровень моря был ниже современного. В период перехода от плейстоцена к голоцену, по мнению авторов, произошло смягчение климата, активизация неотектонических движений и перестройка гидросети (Авдюничев, 1990).

Важнейшим открытием, сделанным в ходе современных исследований острова Врангеля, стало установление голоценового абсолютного возраста костных останков мамонтов (Vartanyan *et. al.* 1993). Массив радиоуглеродных датировок в диапазоне от 9000 до 3700 радиоуглеродных л.н. позволил сделать вывод о том, что остров Врангеля был местом обитания последних мамонтов на Земле - рефугиумом, существовавшим вплоть до позднего голоцена (Vartanyan *et. al.* 1993, 2008). Врангелевский мамонт был выделен исследователями в отдельный подвид (Гарутт и др., 1993).

С 1989 по 2001 годы на острове проводились различные полевые работы, включавшие в себя рекогносцировочные маршруты, геолого-геоморфологические обследования, сбор остатков ископаемой фауны, отбор материалов для различных анализов (палеоботанические исследования, датирование, изотопные и генетические исследования). Таким образом, впервые реконструкции природных обстановок прошлого острова Врангеля были подкреплены объёмным массивом результатов аналитических работ (Karhu *et. al.* 2001; Lozhkin *et. al.* 2001; Gualtieri *et. al.* 2003; Gualtieri *et. al.* 2005; Вартанян, 2007).

По данным современных исследований, в позднечетвертичное время остров испытывал только одно масштабное оледенение, которое при этом не было покровным (Karhu *et. al.* 2001; Gualtieri *et. al.* 2003). Последнее оледенение на острове имело очень

ограниченное распространение в силу низкого увлажнения, вызванного континентальностью климата (Вартанян, 2007; Gualtieri *et. al.* 2005).

Также в результате исследований были установлены основные закономерности развития климата и природной среды острова, начиная с конца позднего плейстоцена (Lozhkin *et. al.* 2001; Вартанян, 2007).

В результате построения реконструкций, было установлено, что, по крайней мере для позднего плейстоцена и голоцена острова Врангеля характерны те же флуктуации климата, что и для всей северной Азии (Важенина, Ложкин, 2013; Вартанян, 2007), а именно значительная континентальность климата в конце позднего плейстоцена, ограниченный характер распространения оледенения, смещение климатического оптимума голоцена на его начало.

## **2.2. Палеоботаническая изученность.**

Изучение четвертичных отложений острова Врангеля с помощью методов спорово-пыльцевого, ботанического и карпологического анализов большую часть истории исследования острова носило фрагментарный характер. В литературе, вплоть до 2000-х гг., встречаются единичные случаи применения данных методов (Кирюшина, 1965).

К настоящему моменту известно 14 четвертичных разрезов, изученных методом спорово-пыльцевого анализа (включая разрезы, изученные в данной работе) (рис. 6). Большая часть из них формировалась на рубеже плейстоцена-голоцена. Результаты исследований этих разрезов опубликованы в монографии С.Л. Вартаняна (2007), и в статье А.В. Ложкина (2001).

В публикации А.В. Ложкина (Lozhkin *et. al.*, 2001) приведены результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений нескольких озёр на о-ве Врангеля, но, в виду небольшой мощности осадков (до 60 см), низких скоростей осадконакопления и отсутствия подозёрного талика, результаты спорово-пыльцевого анализа практически не показывают вариаций содержания пыльцы и спор, за исключением самых древних осадков.

Помимо ботанического и спорово-пыльцевого анализов, в монографии С.Л. Вартаняна приводятся результаты карпологического и палеоксилотомического анализов органогенных осадков периода оптимума голоцена и диатомовый анализ морских и флювиальных отложений (Вартанян, 2007).

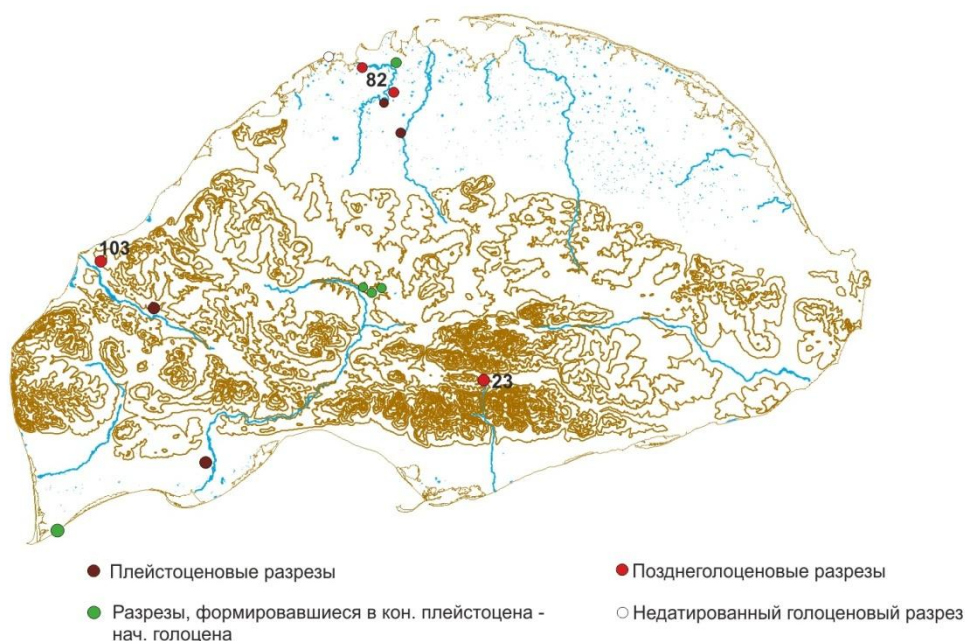


Рис. 6 Палинологическая изученность разрезов четвертичных отложений о-ва Врангеля. Указаны номера разрезов, изученных в работе (по: Вартанян, 2007).

Сложность палеоботанических исследований четвертичных осадков острова Врангеля заключается в генезисе толщ: часто голоценовые отложения сложены проллювием, имеющим сложный седиментационный режим, часто сопровождающийся перерывами в осадконакоплении (Вартанян, 2007; Vartanyan *et. al*, 2008). Сравнительно мощные органогенные осадки (озёрно-болотные отложения, торф) формировались на острове только в период оптимума голоцена. Континентальных отложений последнего межледникового не обнаружено.

### 2.3. Археологические исследования.

Помимо геологических и палеогеографических изысканий, на острове Врангеля также проводились археологические исследования. В 1975 году на острове была обнаружена археологическая стоянка «Чёртов овраг». По данным радиоуглеродного датирования, возраст стоянки составляет от 2,8 тыс. л.н. до 3,36 тыс. л.н. Первоначально, исходя из характера найденных орудий, исследователи отнесли данный памятник к палеоэскимосской культуре охотников на морского зверя (Dikov, 1988). Впоследствии, по результатам анализа найденного при раскопках костного материала, было установлено, что большинство костей (более 70%) принадлежит белому гусю (Герасимов и др., 2003).

### **Глава 3. Результаты палинологических исследований.**

Для того чтобы охарактеризовать растительность и природные условия позднего голоцена на острове Врангеля, нами было выбрано три разреза, находящихся в разных частях острова и показывающие климат разных временных промежутков позднего голоцена.

Метод спорово-пыльцевого анализа (СПА) широко применяется в палеогеографии для восстановления растительности и условий природной среды прошлого. В Арктике, и на острове Врангеля в частности, ввиду особенностей растительности и строения четвертичных отложений, на интерпретацию результатов СПА влияет ряд факторов:

1. Многие разрезы, особенно выполненные в пролювии, имеют непостоянный режим осадконакопления.
2. Пыльца и споры разных растений по-разному сохраняются в отложениях.
3. В условиях Арктики растения часто размножаются вегетативно.
4. В спектрах встречается большое количество заносной пыльцы.
5. Часто результаты СПА отражают изменения растительности на локальном уровне.

В рамках данной работы реконструкция растительности и климата основывается на результатах СПА трёх разрезов, расположенных в разных частях острова Врангеля. Разрез 103 находится в западной части острова в нижнем течении реки Гусиная, высота разреза над уровнем моря составляет около 25 м. По данным радиоуглеродного датирования, он начал формироваться 4 тыс. л.н. Обнажение 23 расположено в центральной части острова в верхнем течении р. Хищников, здесь осадконакопление началось 3,8 тыс. л.н. Разрез находится в горной части острова, высота уреза воды н.у.м. порядка 300 м. Обнажение 82 находится в северной части низменности Тундра Академии на реке Тундровая недалеко от её устья. Урез воды лежит практически на уровне моря.

Обнажения 23 и 103 выполнены в пролювиальных отложениях. Несмотря на то, что данный тип отложений обычно не используется для проведения палеоботанических исследований, на сегодняшний день это единственные известные разрезы, возраст которых подтверждён результатами радиоуглеродного датирования, формировавшиеся в период вымирания мамонтов на острове (Вартамян, 2007). Разрез 82 выполнен в аллювиальных отложениях. По данным датирования, он начал формироваться около 2000 л.н.



### 3.1. Разрез 103 (р. Гусиная).

Разрез №103 находится в западной части о. Врангеля, в среднем течении р. Гусиная на правом берегу (71° 9,329' N, 179° 5,607' E).

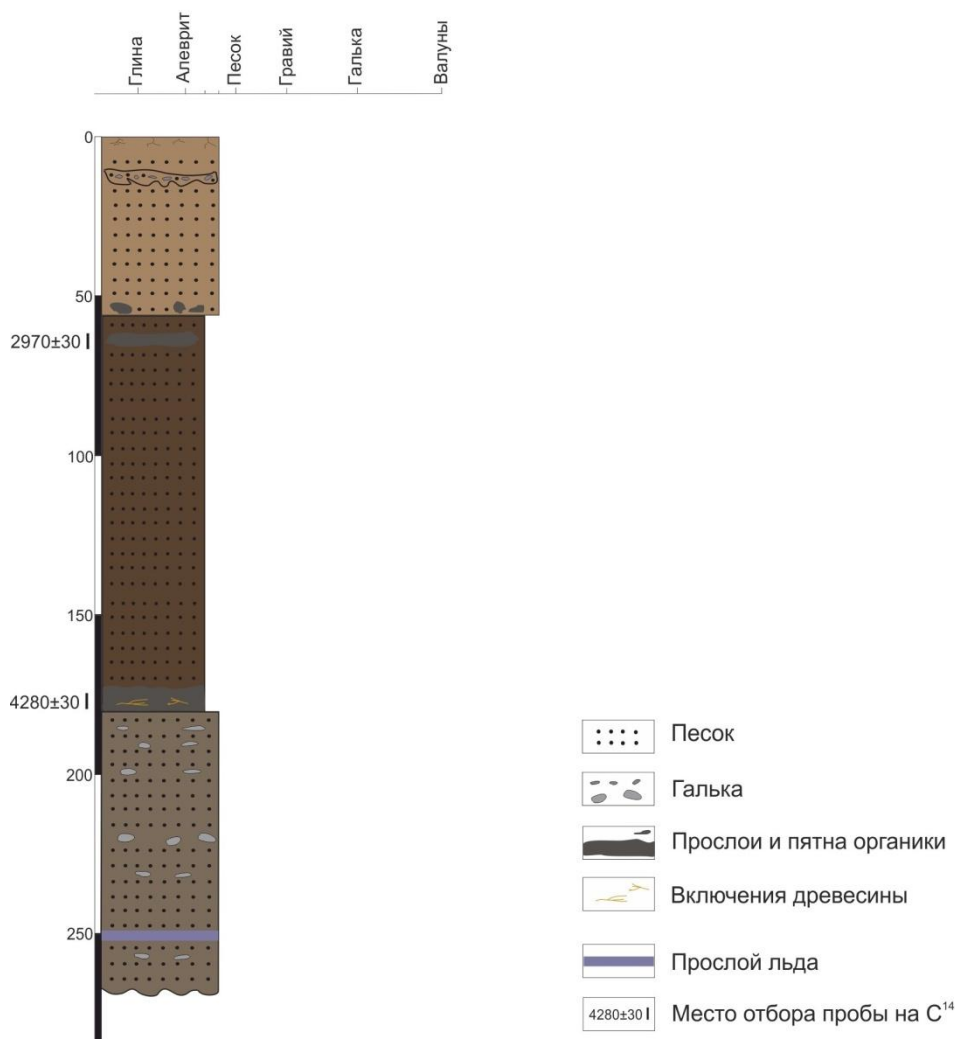


Рис. 7 Литологическая колонка разреза №103, р. Гусиная.

Обнажение представляет собой обрыв берега реки длиной примерно 100 м, высотой до 3,5 м.

Весь разрез мерзлый, криогенная текстура горизонтально-слоистая.

В расчистке сверху вниз вскрываются следующие осадки (рис. 7):

1. Песок светло-коричневый, среднезернистый, пылеватый. Возможен перерыв в осадконакоплении со слоем, мощность 0-0,65 м.

2. Песок коричневый, тонкозернистый, пылеватый, обогащенный органикой. Присутствуют включения древесных остатков, представленные ветками кустарников. Переход к нижележащему слою плавный, мощность 0,65-1,8 м.

3. Песок крупнозернистый с галькой. На глубине 2,5 м – субгоризонтальный прослой прозрачного льда толщиной 0,1 м, пересекает всю расчистку. Видимая мощность 1,8-2,7 м.

Методом спорово-пыльцевого анализа было изучено 25 образцов. Пробоподготовка была проведена по стандартной методике с последовательной обработкой образцов в растворе соляной кислоты, растворе едкого натра и плавиковой кислоте (Berglund & Ralska-Jasiewiczowa, 1986) (рис. 8). Для подсчёта концентрации пыльцевых зёрен на грамм осадка, к навескам были добавлены таблетки со спорами *Lycopodium* (Stockmarr, 1971). Просмотр препаратов осуществлялся на бинокулярном микроскопе Лабомед-1 вариант 3 с увеличением 400х. Спорово-пыльцевой анализ был выполнен Петровым Д.В. и Савельевой Л.А.. Подсчёт процентов был выполнен по методике, где за 100% принимается сумма пыльцы древовидных и травянистых растений, а содержание споровых и непыльцевых палиноморф считается от общей суммы (Чернова, 2004). Эта же методика была использована для построения диаграмм разрезов №23 и №82. Для построения диаграмм было использовано программное обеспечение Microsoft Excel и C2 (<https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software.htm>).

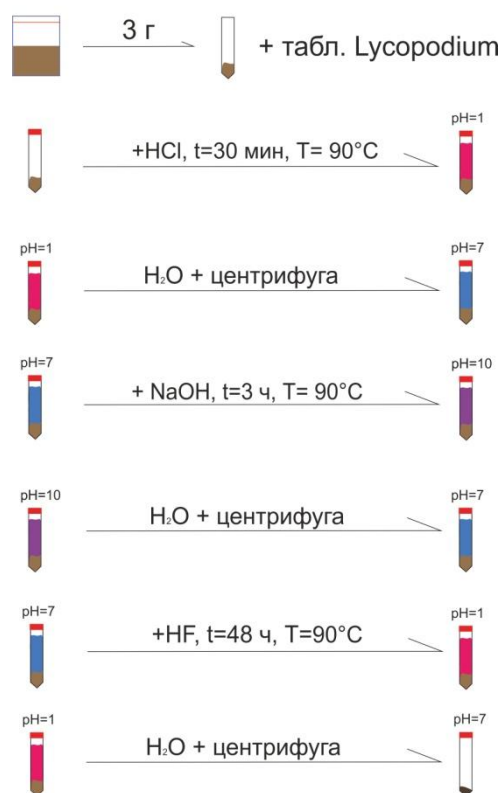


Рис. 8 Порядок обработки проб для споровопыльцевого анализа.

В ходе исследования нами была сделана попытка сфотографировать непыльцевые палиноморфы (НПП) на оборудовании ресурсного центра СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» с целью их более точного определения. Снимки выполнялись на цифровом микроскопе Keyence VHX1000 в рамках проекта 103-11718. К сожалению, сохранность НПП не позволила определить их дальше рода.

Всего было выделено 23 пыльцевых таксона, 8 споровых, 2 вида пресноводных водорослей, единичные копрофаги. Отложения характеризуются низкой концентрацией микрофоссилий, сохранность спор и пыльцы плохая. В разрезе были встречены цисты пресноводных зелёных водорослей *Zygnema* и *Pediastrum*. В средней и верхней частях разреза обнаружены дочетвертичные споры. В интервалах 40 - 80 см и 190 - 220 микрофоссилии встречаются единично.

По результатам спорово-пыльцевого анализа на диаграмме было выделено 9 палинозон (рис. 9).



Рис. 9 Спорво-пыльцевая диаграмма разреза №103, анализ выполнен Петровым Д.В. и Савельевой Л.А.

Палинозона G01 (250 – 225 см). В спорово-пыльцевых спектрах доминируют травянистые растения (65-70%), содержание пыльцы кустарниковых пород составляет около 10%, на долю споровых приходится от 15 до 20%. Среди кустарников доминируют *Salix* (10%), *Alnus fruticosa* (до 5%), *Betula sect. Nanae* (около 5%), присутствует заносная пыльца *Pinus s/g Harpoloxylon*. Среди травянистых растений преобладают Сурегасеае (60-70%), присутствует пыльца Роасеае, (до 10%). Споровые таксоны представлены Polypodiaceae (5-15%), *Sphagnum* (до 5%), присутствуют споры *Encalypta*.

Палинозона G02 (225-185 см). В спектрах встречены единичные палиноморфы. На глубине 170-180 см получена радиоуглеродная дата (ЛЕ-5316)  $4280 \pm 30$ .

Палинозона G03 (185-155 см). Зона отличается увеличением участия в спектрах споровых таксонов, количество которых достигает 40%, роль трав при этом падает до 50%. По сравнению с зоной G01, содержание пыльцы кустарниковых возрастает (до 25%). В частности, доля *Salix* в спектре достигает 18%, участие других таксонов незначительно сокращается. Среди травянистых растений по-прежнему преобладает Сурегасеае, при этом её доля несколько сокращается (50-60%). Содержание пыльцы Роасеае возрастает, достигая максимума по разрезу (22%). Споровые представлены Polypodiaceae (до 30%), *Sphagnum*.

Палинозона G04 (155-125 см) характеризуется дальнейшим ростом участия споровых таксонов в спектрах. Общая доля споровых достигает 48%, резко сокращаясь в верхней части зоны. На этом фоне отмечается низкое содержание пыльцы кустарниковых таксонов, травянистые изменяются в пределах от 50% до 88%. Среди кустарничков представлены *Salix* и *Betula sect. Nanae* (до 5%). Среди трав отмечается максимум содержания пыльцы Сурегасеае (84%), в то время как количество Роасеае отмечена в наименьшем количестве (4%). Среди споровых ярко выражен пик *Lycopodium* sp. (35%).

Палинозона G05 (125-105 см). В спектрах вновь начинают преобладать травянистые растения (65-70%), увеличивается участие кустарничков (до 20%), доля споровых не превышает 17%. Среди кустарников доминантным таксоном остаётся *Salix* (13%), также отмечается высокое содержание пыльцы *Pinus s/g Harpoloxylon* (до 7%). Среди трав преобладают Сурегасеае (до 70%) и Роасеае (до 20%), в количестве 5% отмечена пыльца Asteraceae. Среди спор доминирует *Selagenella sibirica* (до 7%),

обнаружены дочетвертичные споры. Присутствуют пресноводные водоросли *Zygnema* (до 10%) и *Pediastrum*.

Палинозона G06 (105-85 см). В целом, спектры схожи со спектрами предыдущей зоны G05. Отличительной особенностью является уменьшение содержания споровых таксонов до первых процентов, фиксируется пыльца древесных форм *Betula sect. Albae* и *Alnus*. Среди субдоминант в травянистых таксонах отмечается *Artemisia* и *Brassicaceae* (до 5%). Споровые представлены сфагновыми мхами (5%), присутствует *Huperzia selago* и *Encalypta*, обнаружены дочетвертичные споры. Среди НПП представлены пресноводные водоросли *Zygnema* (до 10%) и *Pediastrum*.

Палинозона G07 (85-35 см) характеризуется единичным присутствием палиноморф.

На глубине 65-75 см по растительному детриту получена радиоуглеродная датировка (JE-5315)  $2970 \pm 30$ .

Палинозона G08 (25-0). В спектрах отмечается высокая доля пыльцы кустарничков (до 30%), преобладают *Salix* (до 27%), *Betula sect. Nanae* (до 10%). Среди травянистых растений, на фоне господства *Сурегасеае* (до 53%) и *Роасеае* (до 7%), количество пыльцы *Asteraceae* и *Brassicaceae* не превышает 5%. Среди споровых присутствуют *Riccia*, *Encalypta*, *Selegenella Sibirica*, отмечены дочетвертичные споры. В значительном количестве встречаются водоросли *Zygnema*.

### 3.2. Разрез 82 (р. Тундровая).

Обнажение вскрывается в отложениях высокой поймы в левом берегу р. Тундровая в 1 км выше по течению от устья. Расчисткой вскрывается горизонтально- и волнистослоистый песок среднезернистый песок, в верхней части разреза послойно оторфованный (рис. 10). В нижней части расчистке, на глубине 90 см, присутствует тонкий прослой растительного детрита. Мощность вскрытых отложений составила 1 м.

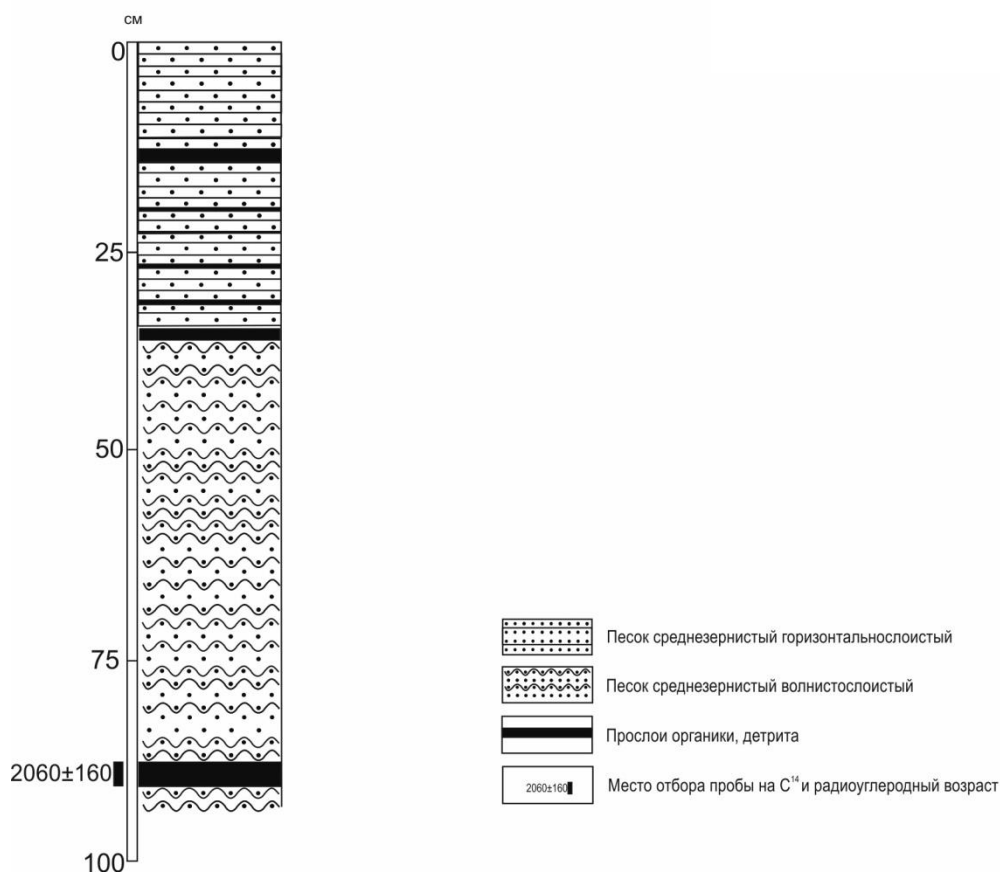


Рис. 10 Литологическая колонка разреза №82, р. Тундровая.

Для палинологического исследования было отобрано 9 образцов. Спорово-пыльцевой анализ образцов был произведён Д.П. Пономарёвой, диаграмма построена Д.В. Петровым.

В результате анализа было выявлено 5 древесных и кустарничковых таксонов, 21 таксон травянистых растений, 2 споровых таксона. По всему разрезу встречаются холодноводные пресноводные диатомеи *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis*, *Pinnularia data*, *Navicula mutica*. На глубине 0.3-0.4 м отмечены единичные створки солоноватоводной формы *Diploneis interrupta* (Вартанян, 2007).

По результатам спорово-пыльцевого анализа было выделено 3 палинозоны (рис. 11).

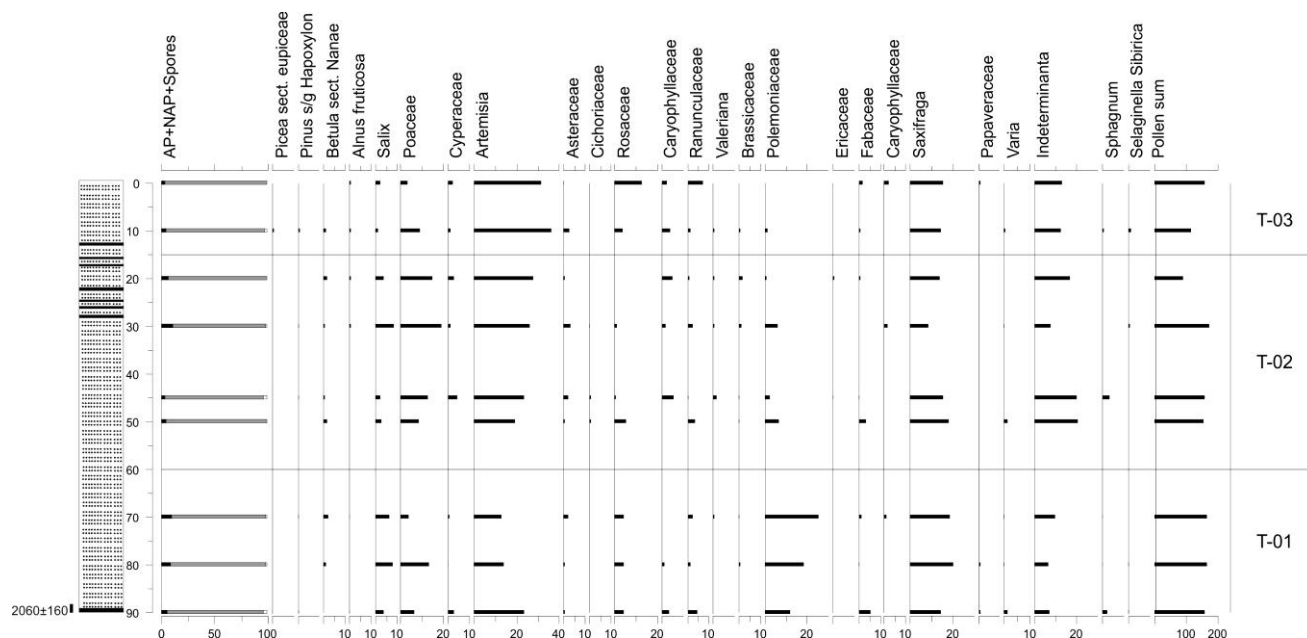


Рис. 11 Спорово-пыльцевая диаграмма разреза №82, спорово-пыльцевой анализ выполнен Д.П. Пономарёвой, диаграмма построена Петровым Д.В.



Палинозона Т-01 (90-60 см). Характеризуется высоким таксономическим разнообразием. В спектрах доминируют травянистые растения: Polemoniaceae (до 25%), *Saxifraga* (до 20%), *Artemisia* (до 25%), в значительной доле присутствует пыльца Rosaceae (до 15%). Кустарничковые таксоны в сумме достигают 10%.

Палинозона Т-02 (60-15 см). В целом, сохраняются те же доминанты, что и в Т-01, отличием является снижение содержания Polemoniaceae (до 5%), *Saxifraga* (менее 20%) и увеличение содержания пыльцы *Artemisia* (до 25%) и Rosaceae (до 20%).

Палинозона Т-03 (15-0 см). Зона характеризуется изменением субдоминант: увеличивается доля Ranunculaceae и Rosaceae (до 10%), тогда как Polemoniaceae выпадает из спектра. Содержание пыльцы *Artemisia* достигает максимума по разрезу (свыше 35%), доля Rosaceae несколько снижается. Содержание пыльцы кустарничковых таксонов снижается (не более 5%), присутствует заносная пыльца *Pinus s/g Нарохулон*.

### 3.3. Разрез 23 (р. Хищников).

Обнажение находится в левом берегу р. Хищников в верхнем течении при впадении в него ручья, конус выноса которого подрезает река. Разрез выполнен в пролювиальных отложениях (рис. 12).

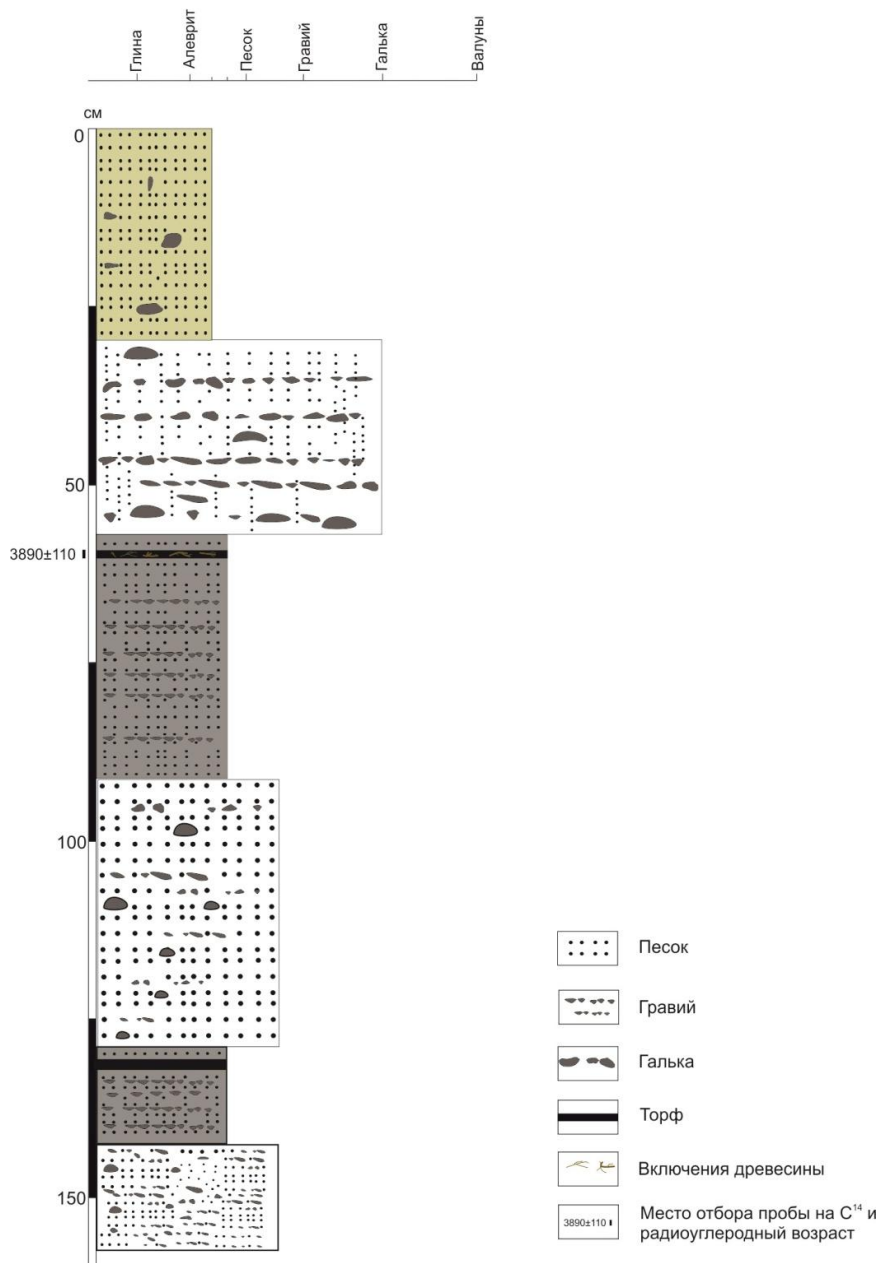


Рис. 12 Разрез №23, р. Хищников.

В разрезе вскрывается следующая последовательность залегания отложений (сверху вниз) (рис. 11):

1. Песок тонкозернистый пылеватый с включениями гальки и дресвы, в нижней части присутствуют два тонких погребённых почвенных горизонта, мощность 30 см.
2. Галечник с песчано-гравийным заполнителем, мощность 40 см.
3. Песок серый с прослоями гравия с включениями органики в верхней части.
4. Песчано-гравийная смесь, мощность 40 см.
5. Песок серый с прослоем торфа в кровле (горизонт подобен слою 3), мощность 20 см.
6. Песчано-гравийная смесь, видимая мощность 20 см.

Для спорово-пыльцевого анализа было отобрано 16 образцов. Анализ был произведён Д.П. Пономарёвой, диаграмма построена Д.В. Петровым.

По результатам палинологического исследования было выделено 7 древесных (заносных) таксонов, 3 кустарничковых таксона, 25 травянистых таксонов, 10 споровых. Помимо пыльцы и спор, встречаются пресноводные водоросли *Zygnema* и *Pediastrum*, диатомовые водоросли, обломки спикул губок и углистые частицы. Пробы характеризуются богатым таксономическим разнообразием.

По результатам спорово-пыльцевого анализа было выделено 7 палинозон (рис. 13).

Палинозона Н-01 (160-135 см). Зона характеризуется преобладанием пыльцы травянистых растений (около 50 %), на долю древесных и споровых приходится примерно по 25%. В значительном количестве присутствует заносная пыльца *Pinus s/g Нарохylon* (до 10%), среди местных кустарников доминируют *Salix* (до 7%) и *Alnus fruticosa* (до 8%). Среди травянистых растений доминирует *Cyperaceae* (более 40%), затем *Рoaceae* (до 20%) и *Artemisia* (до 10%), присутствует пыльца *Menyanthes*. В составе споровых доминируют *Selagenella sibirica* (более 10%) и сфагновые мхи (до 10%). В пробе обнаружены водоросли *Zygnema*, углистые частицы и спикулы губок.

Палинозона Н-02 (135-115 см). Характеризуется схожими с Н-01 спектрами, при этом общее соотношение изменяется в пользу трав за счёт споровых. Среди кустарников к субдоминантам добавляется *Betula sect. Nanae* (до 10%), доля пыльцы *Salix* незначительно возрастает, содержание заносной пыльцы *Pinus* снижается. Среди трав *Cyperaceae* остаются доминантными, снижается доля *Рoaceae* (менее 5%). К числу субдоминант добавляется *Caryophyllaceae* (до 5%). Среди споровых доминируют *Selagenella Sibirica* и *Sphagnum*. Встречаются водоросли *Zygnema*.



Палинозона Н-03 (115-95 см). Общее содержание трав продолжает увеличиваться, а пыльцы древесных таксонов сокращается (до 15%). Среди кустарников доминантой становится *Betula* sect. *Nanae* (13%), содержание *Salix* снижается. В составе трав отмечается снижение доли пыльцы *Cyperaceae* (до 20%) и увеличение *Poaceae* (до 10%) и *Artemisia* (более 20%). Среди травянистых также резко выражен пик *Caryophyllaceae* (более 20%). В составе споровых доминантным становится *Sphagnum* (более 10%), субдоминантой *Selagenella Sibirica* (до 10%). Встречаются диатомовые водоросли и *Zygnema*, углистые частицы и обломки спикул губок.

Палинозона Н-04 (95-75 см). Общее соотношение незначительно изменяется в сторону древесных (до 25%), сильно сокращается доля споровых (до 6%). Среди заносной пыльцы присутствуют *Picea obovata* и *Pinus* s/g *Harpoxylon* (более 10%). Среди кустарников доминирует пыльца *Alnus fruticosa* (около 10%) и *Salix* (около 5%). В группе трав преобладает пыльца *Cyperaceae* (более 40%), содержание *Poaceae* возрастает (до 18%). Доля *Artemisia* резко снижается (менее 5%), среди субдоминант появляются *Brassicaceae* и *Saxifraga* (до 5%). Споровые содержатся в незначительном количестве. Встречаются водоросли *Zygnema*.

Палинозона Н-05 (75-55 см). Общее соотношение между тремя группами таксонов выравнивается, (на долю каждой приходится по 30%). Отмечается очень высокое содержание заносной пыльцы: *Pinus* s/g *Diploxylon* (до 20%), присутствует пыльца *Betula* sect. *Albae* и *Alnus*. Среди кустарников доминирует *Betula* sect. *Nanae* (около 10%), субдоминанта - *Alnus fruticosa* (около 5%), почти до нуля снижается доля *Salix*. Среди трав доминантой становится *Artemisia* (более 30%), доля *Cyperaceae* и *Poaceae* падает (до 20% и 10% соответственно), присутствует пыльца *Saxifraga* (около 5%), встречается пыльца *Ephedra*. Среди споровых преобладают *Sphagnum* и *Selagenella Sibirica* (оба около 10%). Встречаются диатомовые водоросли и углистые частицы.

Палинозона Н-06 (55-35 см). Общее соотношение изменяется в пользу травянистых растений. Содержание заносной пыльцы падает, среди кустарников преобладает *Salix* (до 20%) при участии *Alnus fruticosa* и *Betula* sect. *Nanae* (оба до 10%). В группе травянистых таксонов доминируют *Cyperaceae* и *Artemisia* (оба около 20%), *Poaceae* (до 10%), субдоминанты – *Brassicaceae* и *Saxifraga* (до 5%). Среди споровых доминируют *Sphagnum* и *Selagenella Sibirica* (оба по 10%). Встречаются водоросли *Zygnema* и *Pediastrum*.

Палинозона Н-07 (35-0 см). В общем соотношении в нижней части зоны доминируют споровые, в верхней части соотношение между группами выравнивается. Содержание заносных таксонов снижается и достигает минимальных значений в верхней части зоны. Среди кустарников доминирует *Salix* (более 10%), в меньшем количестве присутствуют *Alnus fruticosa* и *Betula sect. Nanae* (оба до 5%). В группе травянистых преобладает Сурегасеае (до 30%), примерно в равной доле представлены Роасеае и *Artemisia* (оба около 10%). Другие субдоминанты – Asteraceae (до 20%), *Saxifraga* (более 5%). Среди споровых доминируют Polypodiaceae и *Selagenella Sibirica* (оба по 20%), также присутствует *Sphagnum* (более 10%). Встречаются водоросли *Zygnema*.

## **Глава 4. Реконструкция растительности и климата о-ва Врангеля в позднем голоцене на основе данных спорово-пыльцевого анализа.**

На основе результатов спорово-пыльцевого анализа и данных радиоуглеродного датирования, мы можем реконструировать динамику растительности острова Врангеля в позднем голоцене и тренды изменения климата для этого периода.

### **4.1. Разрез №103.**

В целом, отложения, слагающие разрез накапливались в более благоприятных климатических условиях, по сравнению с настоящим временем. Содержание пыльцы древесных таксонов достигает 20%, тогда как в современных поверхностных пробах содержание *Salix* не достигает 10% (Lozhkin *et. al*, 2001).

Палинозоне G01 соответствует относительно холодный влажный климат, о чём говорит значительное участие в спектрах пыльцы *Cyperaceae*, превышающее 50%. В пользу этого говорит присутствие цист пресноводных водорослей типа *Zygnema*. Присутствие спор *Encalypta* может свидетельствовать о нарушенном почвенном покрове.

В палинозоне G02 были обнаружены единичные палиноморфы (главным образом, пыльца *Cyperaceae* и *Poaceae*).

Выше по разрезу (палинозона G03) формировалась в более благоприятных условиях: содержание пыльцы кустарничковых пород увеличивается, доходя до 20%. Увеличение содержания пыльцы *Poaceae* может свидетельствовать об установлении более сухих условий, но при этом осоки остаются доминантными. Характерно, что пикам содержания осоковых соответствуют минимальное количество злаковых и наоборот.

Условия формирования палинозоны G04 характеризуется теми же температурными условиями, однако отличается большим увлажнением и большим таксономическим разнообразием трав.

Палинозоны G05 и G06, вероятно, формировались в период ухудшения климата. Наличие спор *Encalypta* является признаком нарушенного почвенного покрова. Присутствие дочетвертичных спор и высокое содержание *Zygnema* могут свидетельствовать об увеличении обводнения так и о развитии эрозионных процессов.

Палинозона G07 в разрезе соответствует перерыву в осадконакоплении, споры и пыльца встречаются единично. Данной зоне соответствует перерыв в осадконакоплении.



Палинозона G08 характеризуется высокой долей кустарниковых таксонов, превышающей 30%, при этом небольшим разнообразием трав. В самой верхней пробе происходит сокращение содержания пыльцы *Betula sect. Nanae* и увеличение *Salix*, что может говорить о постепенном утверждении *Salix* как единственных кустарников на острове.

Споры влаголюбивых мхов *Riccia* могут свидетельствовать о повышенном увлажнении, на это же указывает самое высокое в разрезе содержание цист пресноводных водорослей *Zygnema*. Возможно, в прошлом верхняя часть разреза подверглась размыву.

Результаты спорово-пыльцевого анализа позволяют говорить о том, что время формирования разреза характеризовалось несколько более мягким климатом, чем сейчас. При этом, почти во всех образцах были обнаружены споры мхов *Encalypta*, которые могут свидетельствовать о несомкнутости растительного покрова. В современной растительности острова Врангеля преобладают злаково-осоковые сообщества с участием ив, в субрецентных пробах содержание пыльцы ив редко достигает 10% (Lozhkin *et. al.*, 2001). В отложениях разреза №23 её содержание достигает 18%.

#### **4.2.Разрез №23.**

Данный разрез находится в центральной части острова Врангеля, растительность которой существенно отличается от равнинной, поэтому результаты СПА демонстрируют изменения локальной растительности.

В целом, нижняя часть разреза (зоны Н-01 – Н-04) характеризуется более холодными и влажными условиями. Об этом свидетельствует высокое содержание пыльцы Сурегасеае, присутствие *Menyanthes*, также встречаются диатомовые водоросли, спикулы губок, водоросли *Zygnema*.

В верхней части разреза (зоны Н-05 – Н-07), напротив, преобладают ксерофиты (Роасеае, *Artemisia*), среднее содержание пыльцы *Salix* составляет более 10%. Палинозона Н-05 характеризуется очень большой долей аллохтонной пыльцы, что может быть как результатом увеличения заноса в силу изменения границ ареалов на континенте, так и следствием поступления пыльцы в результате размыва (переотложения). В верхней части разреза также встречаются диатомовые водоросли, водоросли *Zygnema* и *Pediastrum*, но реже и в меньших количествах, что, возможно, является результатом периодического обводнения.

### 4.3. Разрез №82.

Результаты спорово-пыльцевого анализа показывают, что формирование толщи отложений проходило в относительно однородных условиях с тенденцией к похолоданию и иссушению, о чём может свидетельствовать увеличение доли *Artemisia* и уменьшение содержания пыльцы древесно-кустарничковой группы. Палинозоне T-01 соответствуют относительно благоприятные условия, среднее содержание пыльцы *Salix* превышает 5%, кривая *Betula sect. Nanae* показывает пик (3%). Выше по разрезу уменьшается доля кустарничковых таксонов и возрастает содержание трав-ксерофитов (*Poaceae*, *Artemisia*). В зоне T-03 содержание *Artemisia* достигает максимума, общая доля кустарников – минимума. Таким образом, в период формирования разреза, климат становился холоднее и суше.

Кроме того, разрезу отмечается наличие небогатого комплекса пресноводных диатомей, что связано с нахождением обнажения в речной пойме. Присутствие единичных солоноводных диатомовых водорослей может быть результатом высоких морских нагонов (Вартанян, 2007).

По результатам СПА можно сделать вывод о том, что разрезы 103 и 23 формировались в схожих климатических условиях. Основные тренды изменения растительности (влажные условия в нижних частях разреза, оптимум в районе 3,5 - 4 тыс. р.л.н.) наблюдаются и там, и там. Интересно, что в обоих разрезах максимум содержания пыльцы *Salix* отмечается в верхней части, доля пыльцы которого достигает 20% в разрезе №103 и 18% в 23, тогда как в современных поверхностных пробах доля пыльцы *Salix* редко превышает 5%. Вероятно, это связано как с особенностями фоссилизации пыльцы, так и с установлением благоприятных условий. В виду того, что оба разреза выполнены в пролювии, не исключены перерывы в осадконакоплении, о чём косвенно говорят обнаруженные во многих пробах непыльцевые палиноморфы, такие как спикулы губок, скелеты диатомей, а также пресноводные водоросли *Zygnema* и *Pediastrum*.

Разрез 82 формировался в последние 2 тыс. лет и отражает постепенный переход к современной растительности, выраженный в дальнейшем снижении доли кустарничков и увеличении доли травянистых растений.

Полученные в ходе исследования данные дополняют картину развития растительности острова Врангеля в позднем голоцене. Был выполнен СПА для обнажения №103, для ранее опубликованных разрезов диаграммы были перестроены в соответствии с

современной методикой (Чернова, 2002). Для разреза №103 был применён метод расчёта абсолютной концентрации пыли, что позволило оценить климатические условия в период вегетации.

#### 4.2. Природная среда позднего голоцена острова Врангеля: растительность, климат и мамонты.

Основным фактором, определявшим климат и растительность острова Врангеля в голоцене, был уровень моря. С началом голоцена, уровень моря начал постепенно расти (Hopkins, 1973). В районе 8 тыс. л.н., береговая линия острова Врангеля приобрела современные черты (рис. 14). Период с начала голоцена до этого времени на основе палеоботанических исследований в северо-восточной Арктике считается оптимумом (Lozhkin et al., 2011; Lozhkin & Anderson, 2013), тогда на острове Врангеля формировались сравнительно мощные торфяники (сейчас торфяники на территории острова не образуются), достаточно широко была распространена кустарничковая растительность (Lozhkin et al., 2001). После 8 тыс. л.н., климат острова в большей степени стал зависеть от моря. На сегодняшний день районы распространения кустарничковой растительности (ивняков) на острове находятся в его центральных районах с наиболее континентальными условиями (Городков, 1958; Холод, 2017).

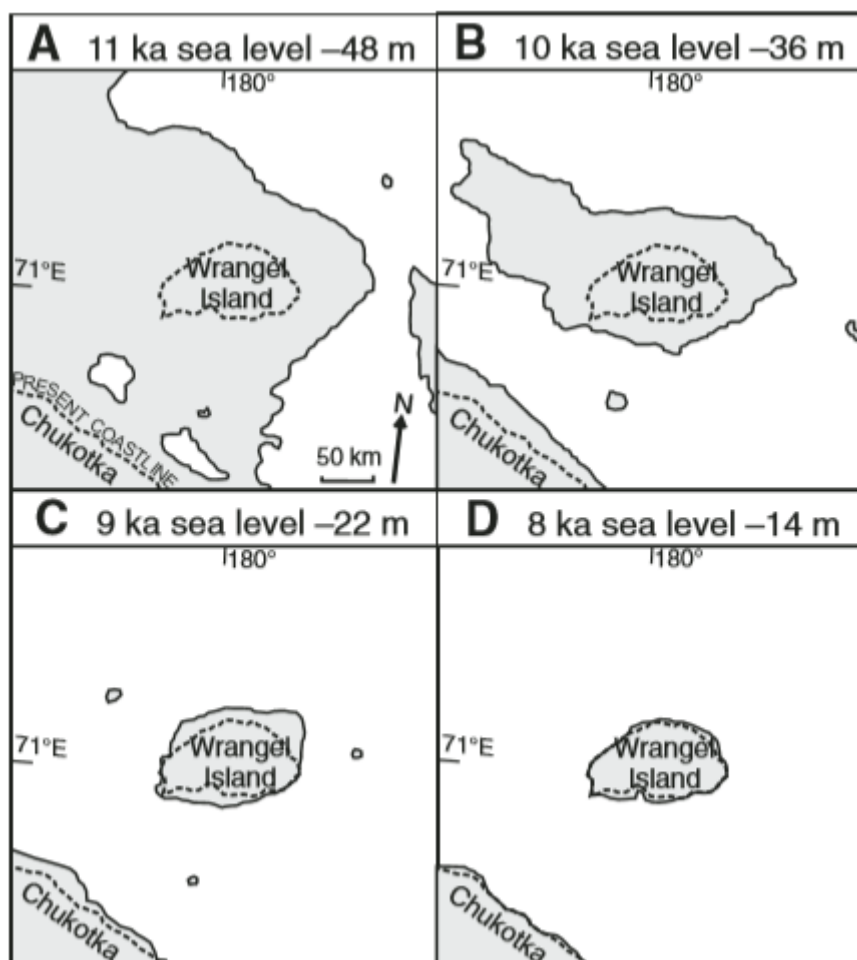


Рис. 14 Изменение береговой линии в голоцене (Manley, 2002).

Вероятно, что деградация кустарничковой растительности наступила не сразу после подъёма уровня моря до современных значений, а была растянута во времени на какой-то период.

Состав растительных сообществ острова в позднем голоцене изменялся несильно, самым значительным событием явилось утверждение ивовых как единственного кустарничкового таксона. При этом в современных поверхностных пробах доля заносной пыльцы берёзы и ольховника превышает долю произрастающей на острове ивы, поэтому точное время исчезновения двух пород кустарничков можно оценить лишь примерно (Lozhkin *et al.*, 2001; Ватанян, 2007).

В позднем голоцене наблюдался эпизод потепления в районе 4 – 3,5 тыс. л.н., который характеризовался небольшим увеличением доли кустарничков в этом временном промежутке. Интересно, что в этот же период мамонты на острове полностью вымирают. После 3 тыс. лет на острове, как и в северо-восточной Арктике в целом, устанавливается современный климат и растительность (Lozhkin *et al.*, 2001; Lozhkin *et al.*, 2011; Lozhkin & Anderson, 2013).

Среди причин вымирания мамонтов на рубеже плейстоцена-голоцена обычно называют изменение климата и/или истребление их человеком. Единственный известный археологический памятник на острове – Чёртов овраг – по данным радиоуглеродного датирования имеет возраст на несколько сотен лет меньше самой молодой датировки по мамонтовым костям (Dikov, 1988; Герасимов и др., 2003; Vartanyan *et al.*, 2008). По характеру найденных при раскопках орудий памятник был отнесён к палеоэскимоской культуре охотников на морского зверя, что подтверждено характером обнаруженного при раскопках костного материала (Dikov, 1988; Герасимов и др., 2003).

На сегодняшний день известна только одна другая популяция мамонтов, пережившая плейстоцен-голоценовый переход – это мамонты с острова Св. Павла, входящего в архипелаг Прибылова в Беринговом море (Guthrie, 2004). Подобно острову Врангеля, эти острова в прошлом были частью берингийской суши. Изолированная популяция просуществовала на острове до середины голоцена. Самая молодая радиоуглеродная датировка останков мамонта –  $5,600 \pm 100$  калиброванных радиоуглеродных лет. На этом острове также не было отмечено существенных изменений растительности в период исчезновения популяции (Graham, 2016). Так же, как и на о-ве Врангеля, в период вымирания мамонтов островах Прибылова не было найдено следов деятельности человека. Главным отличием этих островов является размер: площадь о-ва

Св. Павла чуть более 100 км<sup>2</sup>, тогда как площадь о-ва Врангеля более 7,5 тыс км<sup>2</sup> (Graham et al. 2016; Wang et al. 2018). При этом мамонты с островов Прибылова физически были меньше врангелевских мамонтов, что, вероятно, вызвано более ранним отделением островов Прибылова от материка (Tikhonov et al., 2003; Wang et al. 2018).

В условиях сокращающейся площади острова вследствие повышения уровня моря, популяция мамонтов столкнулась с дефицитом пресной воды, который и послужил основной причиной их окончательного вымирания, что было установлено по результатам исследования изотопов в костных тканях животных (Graham et al. 2016; Wang et al. 2018).

Остров Врангеля, в силу больших размеров и ландшафтного разнообразия, позволил просуществовать популяции мамонтов до 4 тыс. л.н. (Vartanyan et al., 2008). Интродукция на остров северного оленя и овцебыка показала, что площадь острова и объём биомассы достаточны для существования большого поголовья крупных травоядных млекопитающих. Достаточно скоро после интродукции северные олени сформировали маршруты миграций, а овцебыки летние и зимние пастбища (Сипко и др., 2007).

Мамонты находились на вершине трофической сети и вряд ли они так сильно могли пострадать от воздействия хищников. Наиболее вероятно, что вымирание мамонтов было вызвано несколькими причинами, корни которых лежат в изменении климатических параметров.

Одной из причин исчезновения могла быть постепенная деградация кустарничковой растительности в голоцене. Кустарнички, при сравнительно небольшой доле в надземной фитомассе острова, играют важную роль как в летнем, так и в зимнем питании овцебыка и северного оленя (рис. 15) (Казьмин и др., 2011;), которые, будучи крупными травоядными представителями мамонтовой фауны, имели, вероятно, схожие с мамонтом рационы.

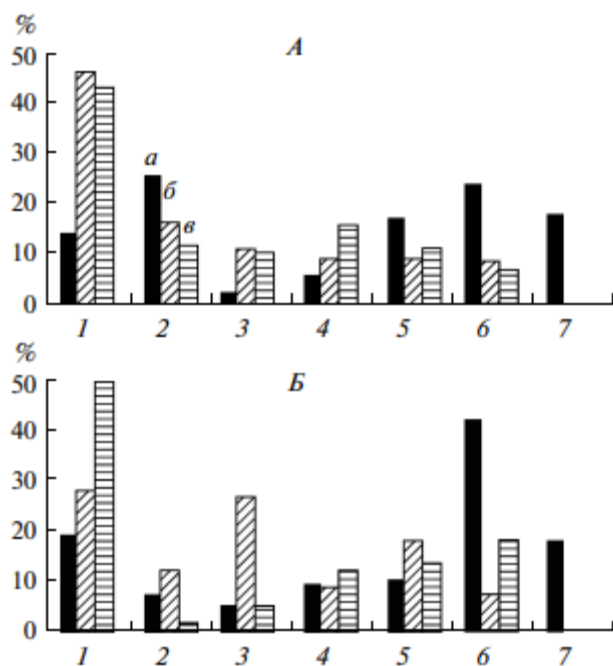


Рис. 15 Доля (в процентах) представителей семейств ивовых (1), злаковых (2), осоковых и ситниковых (3), бобовых (4), разнотравья (5), мхов (6), лишайников (7) в надземной фитомассе (а), в составе рациона овцебыка (б) и северного оленя (в) в летний (А) и зимний (Б) сезоны (Казьмин и др., 2011).

Для того чтобы более объективно судить о причинах вымирания мамонтов на острове, недостаточно данных о растительности, которые мы получаем с помощью спорово-пыльцевого анализа. Костные останки врангелевских мамонтов были многократно исследованы генетическими и различными изотопными методами (Arppe et al., 2019; Fox et al., 2007; Nyström et al., 2010; 2012).

Данные, полученные на основе анализа костных останков мамонтов на предмет содержания в них изотопов стронция и азота, показали, что животные не страдали от недостатка пищи на протяжении долгого времени (темпы роста костной ткани медленные, поэтому они не могут зафиксировать краткосрочные периоды, когда животные испытывали недостаток пищи) (Arppe et al., 2019; Nyström et al., 2010; 2012). По результатам исследований темпа прироста бивней мамонтов с острова Врангеля, было установлено, что все они умерли поздней зимой (El Adli et al., 2017).

На зимнее время также приходится случаи гибели северного оленя – современного представителя мамонтовой фауны острова (Давыдов и др., 2014; Шереметев и др., 2014). С 2002 г. их численность сократилась с нескольких тысяч до 200 – 300 особей в 2016 (Давыдов и др., 2014). Такое сильное снижение поголовья вызвано чередой зим,

сопровождавшихся гололёдными явлениями. Гололёд, образующийся после зимних оттепелей, препятствует добыче корма из-под снега (Казьмин, Абатуров, 2009). При этом овцебыки переносят гололёды без таких тяжёлых последствий, находя небольшие участки, пригодные для пастбы (Шереметев и др., 2014). С 2000 по 2002 гг. их численность увеличилась с 600 более чем до 1000 особей (Сипко и др., 2007; Кулемеев, Груздев, 2018).

Результаты генетических исследований показывают, что при изоляции мамонтов на острове многократно сократился эффективный размер популяции (особенно особей женского пола) по сравнению с мамонтами, жившими до дегляциации (Palkoroulou et al., 2013). Также исследователями была выявлена высокая степень инбридинга в рамках популяции (Palkoroulou et al., 2013; 2015).

Вероятно, что в силу комплексных причин, популяция мамонтов на острове Врангеля, в конечном итоге, стала уязвима к катастрофическим событиям, которыми могли стать зимние оттепели, после которых образовывался гололёд. Животные должны были применять гораздо больше усилий для добычи корма из-под снега при том, что в зимнее время для поддержания теплообмена крупные травоядные должны потреблять большое количество корма (Казьмин, Абатуров, 2009). Возможно, одна катастрофическая зимняя оттепель или серия таких явлений в течение нескольких лет, могли стать причиной окончательного вымирания мамонтов на острове Врангеля (Arrpe et al., 2019). На спорово-пыльцевых диаграммах разрезов №23 и №103, в промежутке от 3,5 до 4 тыс. л.н. нами выделены палинозоны (H-05 и G04-G05) со сравнительно высокой долей кустарничковых таксонов и высоким содержанием заносной пыльцы. Возможно, что спектры этих палинозон соответствуют короткому периоду потепления, вызвавшего зимние оттепели, которые привели к образованию гололёдов, ставших фатальными для последних мамонтов на Земле.



## Заключение

В рамках данной работы автором под руководством к.г.н. Л.А. Савельевой был проведён спорово-пыльцевой анализ 25 образцов из разреза мощностью 2,7 м. Кроме пыльцы и спор автором были определены непыльцевые палиноморфы, к которым относятся цисты пресноводных зеленых водорослей *Zygnema* и *Pediastrum*, споры грибов-капрофагов. Фотографии данных палиноморф были получены в ресурсном центре СПбГУ на микроскопе Keyence VHX1000.

На основе полученных и опубликованных данных была уточнена динамика растительности позднего голоцена острова Врангеля и намечены тренды развития климата за последние ~4000 лет. В результате было установлено, что на протяжении позднего голоцена климат острова Врангеля становился менее благоприятным для обитания мамонтов, что выражено в сокращении площади распространения кустарничковой растительности. Таким образом, поставленные задачи решены, а цель работы достигнута.

Кроме того, сделано предположение о существовании кратковременного потепления в интервале от ~3500 до 4000 л.н., которое могло привести к частым зимним оттепелям, что могло способствовать образованию гололёдов, тем самым ухудшив условия обитания мамонтов, а, возможно, даже явиться причиной их окончательного вымирания. Следует отметить, что исчезновение мамонтов на острове Врангеля было следствием комплексных причин, которые сделали изолированную популяцию уязвимой к стрессовым событиям (длительная изоляция на ограниченной территории, небольшой размер эффективной популяции).

Однако, для того чтобы прояснить картину событий, повлекших за собой вымирание мамонтов, требуются новые исследования, направленные на изучение детальной динамики климата данного региона в позднем голоцене. Такую задачу можно решить только с применением комплексного подхода к изучению голоценовых отложений с высоким разрешением. Например, привлечение методов определения содержания изотопов  $O^{18}$  в кернах морских отложений Чукотского и Восточно-Сибирского морей или микропалеонтологических методов, позволяющих восстанавливать абсолютные температуры.

## Список литературы

Авдюничев В.В. Морфоструктуры и обстановки кайнозойского осадконакопления о. Врангеля. В кн.: Геология, литодинамика и россыпеобразование в прибрежных зонах Арктики. Изд-во ПГО «Севморгеология», 1990. С. 76-84.

Александрова В.Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1976. С. 189.

Важенина Л.Н., Ложкин А.В. Нижнеголоценовые торфяники северо-востока Сибири // Известия РАН. Серия географическая. 2013. №5. С. 74-84.

Вартанян С.Л. Остров Врангеля в конце четвертичного периода: геология и палеогеография. СПб.: Издательство Ивана Лимбаха, 2007.

Гарутт В.Е., Аверьянов А.О., Вартанян С.Л. О систематическом положении голоценовой популяции мамонтов *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) острова Врангеля (северо-восток Сибири). Доклады Академии наук, 1993, том 332, № 6, с. 799-801.

Герасимов Д.В. , Гиря Е.Ю., Тихонов А.Н. Поселение Чертов Овраг на острове Врангеля - вопросы культурной атрибуции и перспективы исследования. Естественная история Российской Восточной Арктики в плейстоцене и голоцене. М.: ГЕОС, 2003. С. 85-88.

Городков Б.Н. Полярные пустыни острова Врангеля // Ботанический журнал, 1943. Т. 28. № 4. С. 63 – 70.

Городков Б.Н. Анализ растительности зоны арктических пустынь на примере острова Врангеля // Растительность Крайнего Севера СССР и её освоение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958а. Т. 3. С. 93 – 148.

Городков Б.Н. Анализ почвенно-растительного покрова острова Врангеля // Растительность Крайнего Севера СССР и её освоение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958б. Т. 3. С. 93 – 148.

Грищенко М.Ю., Чернулич К.К. Исследование связи наземных и космических температурных данных на примере островов Врангеля и Кунашир // Известия Высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. Т. 63. 2019. №5.

Давыдов А.В., Мизин И.А., Сипко Т.П., Груздев А.Р. Северные олени арктических островов России. // Вестник охотоведения . 2017. Т. 14. №4. С. 253 – 271.

Казьмин В.Д., Абатуров Б.Д. Механические свойства снежного покрова и доступность подснежных кормов для северного оленя (*Rangifer tarandus*) и овцебыка (*Ovibos Moschatus*) на пастбищах острова Врангеля // Зоологический журнал. 2009, Т. 88. №8. С. 990 - 1000.

Казьмин В.Д., Холод С.С. Кормовые ресурсы арктических тундр о. Врангеля и их использование северным оленем (*Rangifer tarandus*) и овцебыком (*Ovibos Moschatus*) // Бюллетень московского общества испытателей природы. Отделение биологии. 2014. Т. 119.№2. С. 14 - 28.

Казьмин, В. Д., Холод, С. С., Розенфельд, С. Б., Абатуров, Б. Д. Современное состояние кормовых ресурсов и питание северного оленя (*Rangifer tarandus*) и овцебыка (*Ovibos moschatus*) в арктических тундрах острова Врангеля //Зоологический журнал. – 2011. – Т. 90. – №. 3. – С. 377-384.

Кальянов В.П. Геоморфология и геология острова Врангеля. Ученые записки МГУ, Сер. география, Выпуск 119, Кн. 2, 1946, с. 100-112.

Кирюшина М.Т. Основные черты четвертичной истории острова Врангеля. Антропогеновый период в Арктике и Субарктике. Труды НИИГА. Том 143. М.: Недра. 1965, с. 89-105.

Кононова Н.К. Влияние циркуляции атмосферы на формирование снежного покрова на северо-востоке Сибири // Лёд и Снег. 2012. №1 (117).

Колосов Д.М. Проблемы древнего оледенения Северо-Востока СССР. М.,Л.: изд. Главсевморпути, 1947. С. 74-75.

Кулемеев П.С., Груздев А.Р. Состояние популяции овцебыка острова Врангеля в 2018 году // Заповедники – 2019: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и управление. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции.. Симферополь: типография "Ариал", 2019. С. 374 - 377.

Леонтьева Е.А. Основные черты климата острова Врангеля и Чукотского побережья // Труды АНИИ. Л., 1937.Т. 86. №5. с. 128.

Марков К.К. Геоморфология острова Врангеля. Геология СССР. М.; Л., 1947. Т. 26. С. 400-406.

Обручев С.В., К орографии о. Врангеля. «Arctica» № 1; АНГР, 1933.

Петровский В.В. 1988. Сосудистые растения острова Врангеля. (Конспект флоры). Магадан. 49 с.

Сватков М.Н. О количестве оледенений острова Врангеля в антропогене и возраст последнего из них. Исследование ледников и ледниковых районов. М.; 1962. Т.2.

Скрыльник Г.В. Климат и рельеф острова Врангеля // Климатическая геоморфология Дальнего Востока. Владивосток, 1976, с. 20 – 43.

Сипко Т.П., Груздев А.Р., Егоров С.С., Тихонов В.Г. Анализ процесса интродукции овцебыка на севере Азии // Зоологический журнал. 2007, Т. 86. №5. С. 620 - 627.

Сулейманов А. А. Экспедиции Академии Наук СССР на азиатский север в 30-е гг. XX в. // Мир науки, культуры, образования. 2012. №2 (33). С. 427-431.

Урмина И. А. Экспедиция за мамонтом на остров Врангеля: правда и вымысел // Природа. 2018. №7. С. 72-79.

Холод С.С. Классификация растительности острова Врангеля // Растительность России. 2007. №11. С. 3 - 135.

Холод С.С. Основные экологические особенности растительности острова Врангеля // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века, часть 5 (Геоботаника). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН , 2008. С. 330 - 332.

Холод С.С. Зональность в растительном покрове острова Врангеля: синтаксономический подход // Растительность России. 2013. №23. С. 89 - 121.

Холод С.С. Растительность и мерзлотные формы рельефа на острове Врангеля // Комаровские чтения, вып. LXII. СПб.: 2014. С. 241 - 313.

Холод С.С. Структура растительного покрова острова Врангеля: автореф. дис. д-р. б. наук: 03.02.08. СПб., 2017. 44 с.

Чернова Г.М. Спорово-пыльцевой анализ отложений плейстоцена-голоцена. Учеб. Пособие. СПб.: изд-во С.-Петербур., 2004. 128 с.

Шереметев И.С., Розенфельд С.Б., Сипко Т.П., Груздев А.Р. Вымирание крупных травоядных млекопитающих: нишевые параметры сосуществующих в изоляции овцебыка (*Ovibos Moschatus*) и северного оленя (*Rangifer tarandus*) // Журнал общей биологии, Т. 75. 2014. № 1. С. 62 - 73.

Юрцев Б.А. Реликтовые степные комплексы Северо-Восточной Азии. Новосибирск: Наука, 1981.

Юрцев Б.А., Петровский В.В. 1994. Флора окрестностей бухты Сомнительной: сосудистые растения // Арктические тундры острова Врангеля. СПб. С. 7 – 66.

Arppe, L., Karhu, J. A., Vartanyan, S., Drucker, D. G., Etu-Sihvola, H., & Bocherens, H. Thriving or surviving? The isotopic record of the Wrangel Island woolly mammoth population // *Quaternary Science Reviews*. – 2019. – Т. 222.

Berglund, B. E. & Ralska-Jasiewiczowa, M. 1986: Pollen analysis and pollen diagram. In Berglund, B. E. (ed.): *Handbook of Holocene. Palaeoecology and Palaeohydrology*, 455–484. Wiley Interscience, NewYork.

Dikov N.N. The Earliest Sea Mammal Hunters of Wrangell Island. *Arctic Anthropology*. 1988. №1. С. 80-93.

El Adli, J. J., Fisher, D. C., Vartanyan, S. L., & Tikhonov, A. N. Final years of life and seasons of death of woolly mammoths from Wrangel Island and mainland Chukotka, Russian Federation // *Quaternary International*. – 2017. – Т. 445. – С. 135-145.

Fox, D. L., Fisher, D. C., Vartanyan, S., Tikhonov, A. N., Mol, D., & Buigues, B. Paleoclimatic implications of oxygen isotopic variation in late Pleistocene and Holocene tusks of *Mammuthus primigenius* from northern Eurasia // *Quaternary International*. – 2007. – Т. 169. – С. 154-165.

Graham, R. W., Belmecheri, S., Choy, K., Culleton, B. J., Davies, L. J., Froese, D., ... & Rawcliffe, R. Timing and causes of mid-Holocene mammoth extinction on St. Paul Island, Alaska // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2016. – Т. 113. – №. 33. – С. 9310-9314.

Gualtieri Lyn, Vartanyan Sergey, Brigham-Grette Julie and Anderson Patricia M. Pleistocene raised marine deposits on Wrangel Island, northeast Siberia and implications for the presence of an East Siberian ice sheet // *Quaternary Research* . 2003. №59.

Gualtieri Lyn, Vartanyan Sergey L., Brigham-Grette Julie, Anderson Patricia M. Evidence for an ice-free Wrangel Island, northeast Siberia during the Last Glacial Maximum // *Boreas*. 2005. №34.

Guthrie R. D. Radiocarbon evidence of mid-Holocene mammoths stranded on an Alaskan Bering Sea island // *Nature*. – 2004. – T. 429. – №. 6993. – C. 746-749.

Hopkins D. M. Sea Level History in Beringia During the Past 250,000 Years // *Quaternary Research*. – 1973. – T. 3. – №. 4. – C. 520-540.

Karhu J. A., Tschudi S., Saarnisto M., Kubik P., Schluchter C. Constraints for the latest glacial advance on Wrangel Island, Arctic Ocean, from rock surface exposure dating // *Global and Planetary Change*. 2001. №31. C. 447-451.

Kos'ko M.K., Cecile M.P., Harrison J.C., Ganelin V.G., Khandoshko N.V. and Lopatin B.G. Geology of Wrangel Island between Chukchi and East Siberian seas, northeastern Russia // *Russia; Geological Survey of Canada Bulletin* . 1993. №461.

Lozhkin A., Anderson P. Late Quaternary lake records from the Anadyr lowland, central Chukotka (Russia) // *Quaternary Science Reviews*. – 2013. – T. 68. – C. 1-16.

Lozhkin A. V., Anderson P. M., Vazhenina L. N. Younger dryas and early Holocene peats from northern far East Russia // *Quaternary International*. – 2011. – T. 237. – №. 1-2. – C. 54-64.

Lozhkin, A.V., Anderson, P.M., Vartanyan, S.L., Brown, T.A., Belaya, B.V., and Kotov, A.N., Late Quaternary paleoenvironments and modern pollen data from Wrangel Island (Northern Chukotka): *Quaternary Science Reviews*. – 2001. - v. 20, p. 217–23.

Nyström, V., Dalén, L., Vartanyan, S., Lidén, K., Ryman, N., & Angerbjörn, A. Temporal genetic change in the last remaining population of woolly mammoth // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2010. – T. 277. – №. 1692. – C. 2331-2337.

Nyström, V., Humphrey, J., Skoglund, P., McKeown, N. J., Vartanyan, S., Shaw, P. W., ... & Lister, A. Microsatellite genotyping reveals end-Pleistocene decline in mammoth autosomal genetic variation // *Molecular Ecology*. – 2012. – T. 21. – №. 14. – C. 3391-3402.

Palkopoulou, E., Dalén, L., Lister, A. M., Vartanyan, S., Sablin, M., Sher, A., ... & Thomas, J. A. Holarctic genetic structure and range dynamics in the woolly mammoth // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2013. – T. 280. – №. 1770.

Palkopoulou, E., Mallick, S., Skoglund, P., Enk, J., Rohland, N., Li, H., ... & Reich, D. Complete genomes reveal signatures of demographic and genetic declines in the woolly mammoth //Current Biology. – 2015. – Т. 25. – №. 10. – С. 1395-1400.

Stockmarr, J.1971: Tablets with spores used in absolute pollen analysis. Pollen et Spores 13, 614–621.

Tikhonov A., Agenbroad L., Vartanyan S. Comparative analysis of the mammoth populations on Wrangel Island and the Channel Islands //Deinsea. – 2003. – Т. 9. – №. 1. – С. 415-420.

Vartanyan, S. L., Arslanov, K. A., Karhu, J. A., Possnert, G., Sulerzhitsky, L. D. Collection of radiocarbon dates on the mammoths (*Mammuthus primigenius*) and other genera of Wrangel Island, northeast Siberia, Russia. Quaternary Research 70, 2008. P. 51–59.

Vartanyan, S.L., Garutt, V.E., Sher, A.V. Holocene dwarf mammoths from Wrangel Island in the Siberian Arctic. Nature 362, 1993. P. 337–340.

Wang, Y., Porter, W., Mathewson, P. D., Miller, P. A., Graham, R. W., & Williams, J. W. Mechanistic modeling of environmental drivers of woolly mammoth carrying capacity declines on St. Paul Island //Ecology. – 2018. – Т. 99. – №. 12. – С. 2721-2730

### **Интернет-ресурсы**

Manley, W.F., 2002, Postglacial flooding of the Bering land bridge: A geospatial animation: INSTAAR, University of Colorado, v. 1: [http://instaar.colorado.edu/QGISL/bering\\_land\\_bridge](http://instaar.colorado.edu/QGISL/bering_land_bridge)

<https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software.htm>