

## Строение и динамика развития дюнных массивов Виллюйского бассейна в позднечетвертичное время (на примере тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр)

М. Р. ПАВЛОВА<sup>1</sup>, Н. А. РУДАЯ<sup>2,3,4,5</sup>, А. А. ГАЛАНИН<sup>1</sup>, Г. И. ШАПОШНИКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН  
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36  
E-mail: Nigaer@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Институт археологии и этнографии СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 17*

<sup>3</sup> *Новосибирский государственный университет  
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2*

<sup>4</sup> *Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008, Казань, ул. Кремлевская, 18*

<sup>5</sup> *Алтайский государственный университет  
656049, Барнаул, просп. Димитрова, 66*

Статья поступила 11.10.2016

Принята к печати 26.01.2017

### АННОТАЦИЯ

Представлены результаты комплексного изучения отложений массивов дюнных песков – тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр Виллюйского бассейна (Центральная Якутия). На основании литологических и палинологических данных, а также 17 радиоуглеродных датировок, установлено строение, выполнена предварительная реконструкция динамики развития тукуланов Виллюйского бассейна и окружающих их природных условий в хронологический интервал их формирования – поздний плейстоцен – голоцен. В результате исследования установлено, что тукуланы представляют собой эоловый тип отложений, залегающий на осадочной толще сложного фациального строения. Развитие растительности последних 40 тыс. лет охарактеризовано четырьмя этапами, а стадии развития дюнных массивов представлены тремя хроностратиграфическими фазами.

**Ключевые слова:** тукулан, литология, радиоуглеродное датирование, возрастная модель, палинология, плейстоцен, голоцен, Центральная Якутия.

Виллюйский бассейн – один из районов распространения уникальных реликтовых и современных массивов дюнных песков в Яку-

тии, называемых в данном регионе тукуланами. На исследуемой территории они занимают значительные площади порядка 60 тыс. км<sup>2</sup>.

Наиболее крупные древние песчаные массивы приурочены к долине нижнего и среднего течения р. Виллой.

В геоморфологическом отношении тукуланы являются дюнами высшего порядка, в строении которых четко прослеживаются три ступени рельефа: мезорельеф (цепь дюн), микрорельеф (дюны, котловины выдувания, коридоры выдувания, междюнные понижения) и нанорельеф (кочки, куртины, микровалы, “глинистые грибы”, рябь течения) [Павлова и др., 2015].

Различные аспекты природы дюнных массивов Якутии рассматривались в работах многих исследователей географов, ботаников, геоморфологов, мерзловедов и геологов начиная с позапрошлого века: Р. К. Маак (1886), С. С. Кузнецов (1927), А. А. Григорьев (1932), Т. А. Работный (1935), И. И. Невяжеский, Р. А. Биджиев (1960), Е. Г. Катасонова, А. Н. Толстов (1963), М. Н. Алексеев, Р. Е. Гитерман (1973), П. Д. Павлов, Э. П. Мальцев, В. В. Шепелев (1981), В. В. Колпаков (1983); В. В. Лукин, Л. Н. Толстихин, (2005, 2008) и др. [Григорьев, Павлов, 1977; Павлова и др., 2016].

Однако все опубликованные исследования практически не охватывают или очень слабо освещают палеогеографические вопросы развития тукуланов, таких как возраст, история формирования, особенности пространственно-временных изменений растительности и климата изучаемых образований и региона в целом, что затрудняет изучение динамики климата четвертичного периода Якутии и связанных с этим изменений криолитозоны, палеоландшафтов и палеобиоты.

Цель настоящей работы – реконструкция строения, динамики развития тукуланов Виллойдского бассейна и окружающих их природных условий в позднечетвертичное время на основе результатов литологического, спорово-пыльцевого и радиоуглеродного анализов отложений дюнных массивов – тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр.

Изучаемые тукуланы являются характерными представителями криогенно-эоловых образований Якутии. Вскрытые в пределах дюнных массивов разрезы, дополняющие один другой, позволяют проследить всю историю развития данных объектов и территории в целом в исследуемый период времени.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для изучения строения и динамики дюнных массивов Виллойдского бассейна в позднечетвертичное время послужили образцы, отобранные авторами с ключевых участков тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр в 2014–2015 гг.

Тукулан Кысыл-Сыр (63°54′10″ с. ш., 123°23′40″ в. д., высота 108 м над ур. м.), площадь – 19 км<sup>2</sup> [Савин, Павлов, 2015], располагается в 35 км в северо-восточном направлении от пос. Кысыл-Сыр в долине нижнего течения р. Виллой (рис. 1).

Тукулан Махатта (63°54′50″ с. ш., 122°32′46″ в. д., высота 103 м над ур. м.) находится на левом берегу р. Виллой в 10 км в северо-западном направлении от пос. Кысыл-Сыр вверх по течению. Его площадь составляет 214 км<sup>2</sup>.

Заложена серия из восьми разрезов, из которых наиболее комплексно изучили два (№ 449 и 088). В лабораторных условиях материал проанализировали с применением комплекса методов, включающих литологический, радиоуглеродный, палинологический анализы, а также определение содержания органического вещества.

Радиоуглеродный анализ выполнен методом жидкостной сцинтилляции на спектрометре-радиометре Quantulus 1220 в лаборатории общей геохронологии мерзловедения им. И. П. Мельникова СО РАН (г. Якутск). Материалом для датирования послужили отобранные в ходе апробирования разрезов торф, гумусированная супесь и рассеянный органический детрит. Калибровку радиоуглеродных дат производили с использованием калибровочной кривой IntCal13 [Reimer et al., 2009].

Химическую подготовку проб для спорово-пыльцевого анализа производили в палинологической лаборатории института археологии и этнографии СО РАН (г. Новосибирск) с применением сепарационного метода Гричука для минеральных отложений и Фаегри – Иверсена для торфов [Пыльцевой анализ, 1950; Палеопалинология, 1966]. Для подсчета концентрации палиноморф добавляли таблетки калиброванных спор *Lycopodium* [Stockmarr, 1971].

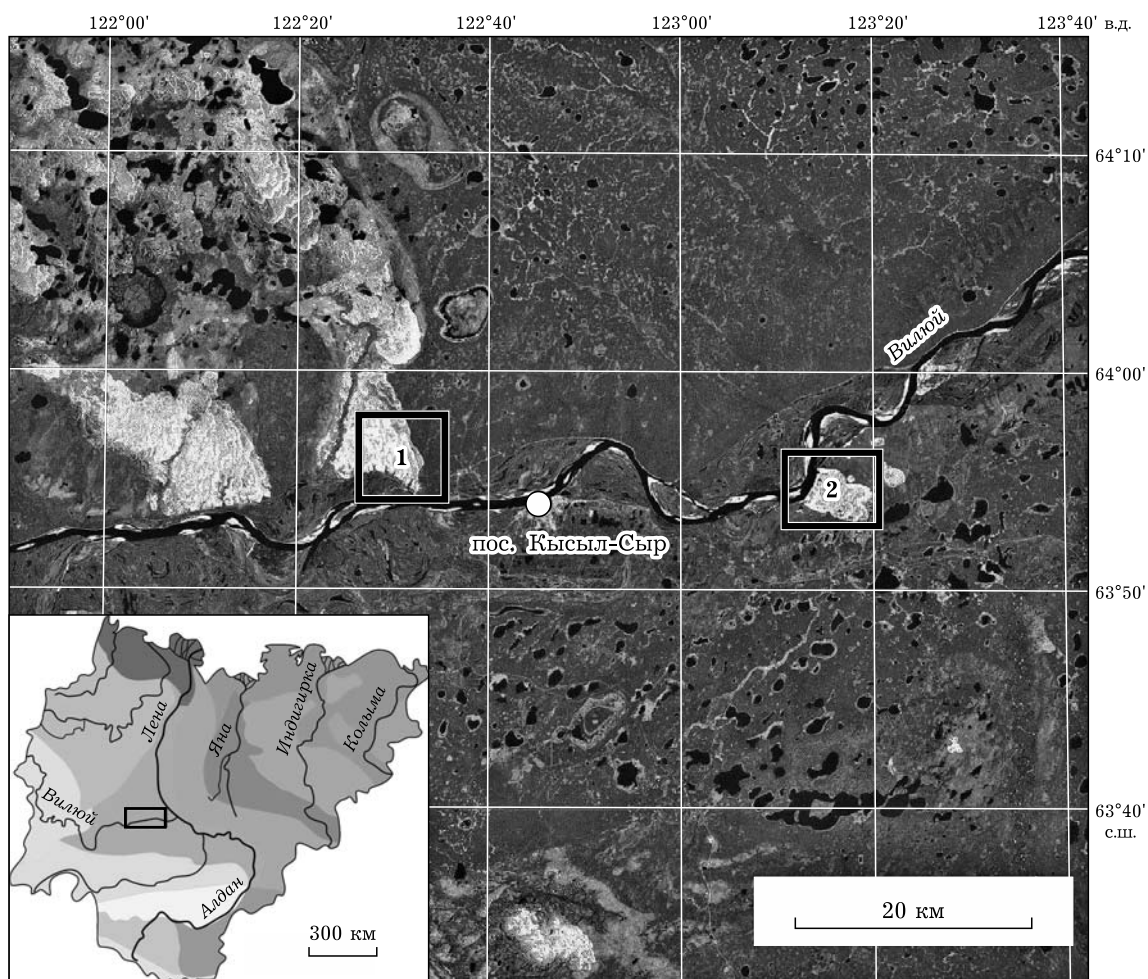


Рис. 1. Географическое расположение района и объектов (ключевых участков) исследования.

1 – Тукулан Махатта, 2 – Тукулан Кысыл-Сыр

Микроскопирование проводилось с использованием светового микроскопа проходящего света Zeiss (PRIMO STAR и AXIOIMAGER D2) с увеличением 400 раз. Подсчет пыльцевых зерен составлял не менее 300 единиц. По результатам исследования построены спорово-пыльцевые диаграммы с помощью программного обеспечения TILIA\_1.7.16 [Grimm, 1991]. Выделение палинозон проводили с применением кластерного анализа с использованием программы CONISS [Grimm, 1987]. Процентные соотношения пыльцы и спор вычислялись от суммы всех определенных пыльцевых зерен и спор.

Для 17 предварительно высушенных образцов грунтового материала (навески по 10–20 г.), отобранных из разреза № 088 (тукулан Махатта), определено содержание обще-

го органического вещества методом потери при прокаливании при 450 °С в муфельной печи по стандартной методике [Santisteban et al., 2004].

Для выделения продолжительности периодов развития растительности и стадий развития тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр с помощью пакета Bacon\_2.2 [Blaauw, Christen, 2011] в программе R [R. A language..., 2013] созданы возрастные модели. Для тукулана Кысыл-Сыр модель построена только для верхней части отложений, для остальной части осадочной толщи, из-за отсутствия серии радиоуглеродных дат, определение продолжительности этапа основано на единичной радиоуглеродной дате и корреляции с другими разрезами по литературным данным [Алексеев, 1961; Гитерман, 1963].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Литологическое описание отложений.** Разрез № 449 заложен в пределах естественного обнажения тукулана Кысыл-Сыр, протяженность которого составляет более 3 км. Отложения вскрыты в центральной части погребенной палеокотловины на участке наиболее развитого торфяника, перекрытого сверху толщей современных эоловых песков (табл. 1). Видимая мощность разреза составляет 9 м.

Второй разрез № 088 приурочен к краевой части тукулана Махатта. Общая мощность

отложений составляет 5 м. Они представлены чередованием среднезернистого и мелкозернистого песка с торфом, сверху перекрыты эоловой пачкой осадков (табл. 2).

**Радиоуглеродное датирование и возрастные модели.** Радиоуглеродные даты получены для 17 образцов. Результаты датирования приведены в табл. 3, 4.

На основании построенной возрастной модели (рис. 2) для верхней части разреза (0,1–2,5 м) получена хронология изменения растительности и стадий развития тукулана Кысыл-Сыр в интервале 9900–3300 калиброванных лет назад (кал. л. н.). На глубине

Т а б л и ц а 1

**Литологическое описание разреза № 449, заложенного в пределах естественного обнажения тукулана Кысыл-Сыр**

Характеристика отложений	Глубина, м
Песок светло-желтый мелкозернистый	0,0–0,2
Торф темно-коричневый, слаборазложившийся, осоково-моховой	0,2–1,2
Торф темно-коричневый, слаборазложившийся с примесью песка серого мелкозернистого, мерзлый	1,2–1,7
Песок желтый с серым оттенком среднезернистый	1,7–2,0
Перегнойно-гумусовые отложения с примесью песка желтого с серым оттенком мелкозернистого	2,0–5,2
Песок желтый мелкозернистый	5,2–5,7
Суглинок серый с прослоями супеси серой	5,7–6,0
Песок желтый мелкозернистый косослоистый	6,0–6,6
Песок светло-желтый крупнозернистый	6,6–6,9
Галька с прослоями гравия	6,9–7,3
Гравий с песком серым крупнозернистым косослоистое залегание	7,3–7,9
Суглинок тяжелый темно-серый	7,9–8,3
Гравий с песком серым крупнозернистым	8,3–9,0

Т а б л и ц а 2

**Литологическое описание разреза № 088, заложенного в пределах естественного обнажения тукулана Махатта**

Характеристика отложений	Глубина, м
Растительно-почвенный слой	0–0,02
Песок светло-серый среднезернистый перекрестно-косослоистый с прослоями супеси пылеватой с включениями корней растений	0,02–1,5
Песок светло-серый пылеватый с прослоями песка желтого пылеватого с включениями корней растений	1,5–1,9
Торф светло-коричневый	1,9–2,1
Песок светло-серый среднезернистый с включениями и остатками корней растений	2,1–2,4
Торф светло-коричневый, кустарничково-осоковый	2,4–3,1
Песок светло-серый среднезернистый с прослоями торфа светло-коричневого и линзами темно-коричневого детрита	3,1–3,6
Торф темно-коричневый с серым оттенком с линзами песка серого среднезернистого	3,6–3,8
Песок серый мелкозернистый с линзами торфа и неразложившегося детрита	3,8–4,1
Песок серый среднезернистый с прослоями темно-коричневого детрита	4,1–5,0

Радиоуглеродные даты отложений опорного разреза № 449, заложенного в пределах тукулана Кысыл-Сыр

Лабораторный номер	Глубина отбора, м	Материал	<sup>14</sup> C возраст, лет	Калиброванный возраст, кал. лет
MPI-43	0,1–0,2	Торф	3320 ± 90	3825–3370
MPI-49	0,5–0,6	То же	3540 ± 95	4090–3590
MPI-51	0,8–0,9	»	3800 ± 75	4415–3980
MPI-53	1,0–1,1	»	3830 ± 90	4515–3975
MPI-48	1,2–1,3	»	3990 ± 90	4815–4155
MPI-52	1,3–1,4	»	5840 ± 100	6890–6410
MPI-42	1,7–1,8	Интенсивно гумусированная супесь	8140 ± 135	9440–8640
MPI-37	3,75–4,5	Рассеянный органический детрит	28 400 ± 600	33 700–31 260

1,3 м наблюдается “разрыв” в модели, предположительно указывающий на перерыв в осадконакоплении.

Построенная возрастная модель для разреза № 088 тукулана Махатта (рис. 3) характеризует развитие дюнного массива в интервале 2600–300 кал. л. н.

**Палинологический анализ.** Изучение ископаемых спор и пыльцы проведено по отложениям двух разрезов. В ходе спорово-пыльцевого анализа обработано 47 образцов. По результатам в Кысыл-Сырском разрезе выделено четыре палинозоны (рис. 4), в разрезе Махатта – две (рис. 5).

Характеристика палинозон разреза № 449 тукулана Кысыл-Сыр.

PZI (8,0–5,5 м). Палинозона отличается доминированием пыльцы ели *Picea* (73,9–94,5 %). При этом отмечена крайне низкая концентрация пыльцы в пробе (82–332 зерен/г), что может свидетельствовать о ее переот-

ложенном характере. Пыльца трав составляет 0,6–17,8 % с преобладанием *Artemisia*, *Chenopodiaceae* и *Poaceae*; споры – 3,8–8,9 %. В целом концентрации пыльцы и спор в этой зоне очень низкие (деревья – 91–359 зерен/г, травы – 2–20, споры 9–19 зерен/г).

PZII (5,5–2,5 м). Палинозона характеризуется преобладанием пыльцы *Picea* (65,9–94,5 %). В отличие от PZI, в этой зоне она является непереотложенной, что подтверждается относительно высокой концентрацией, которая изменяется от 705 до 2794 зерен/г. Пыльца трав составляет 2,3–16,4 % с преобладанием *Ranunculaceae*, *Chenopodiaceae*, *Syringaceae* и *Poaceae*; спор – 1,1–6,2 %.

PZIII (2,5–1,3 м, 9900–6700 кал. л. н.). В целом доминируют древесные породы (до 83,9 %), среди которых преобладает *Betula* spp. (24,2–68,2 %). Пыльца трав составляет 16,1–48,7 %, с преобладанием *Syringaceae*, *Poaceae*, *Ericaceae* и *Artemisia*; споры – 0,9–

Радиоуглеродные даты отложений разреза № 088, заложенного в пределах тукулана Махатта

Лабораторный номер	Глубина отбора, м	Материал	<sup>14</sup> C возраст, лет	Калиброванный возраст, кал. лет
MPI-82	1,9–2,1	Торф	600 ± 300	860–300
MPI-78	2,4–2,55	То же	670 ± 70	680–570
MPI-77	2,65–2,7	»	1420 ± 180	1520–1150
MPI-83	2,8–2,9	»	2040 ± 170	2240–1820
MPI-81	2,9–3,0	»	2140 ± 190	2360–1920
MPI-88	3,3–3,4	»	2000 ± 150	2160–1790
MPI-90	3,6	»	3220 ± 180	3670–3220
MPI-85	4,1	»	2480 ± 180	2740–2350
MPI-89	4,45	Рассеянный органический детрит	2450 ± 340	2920–2100

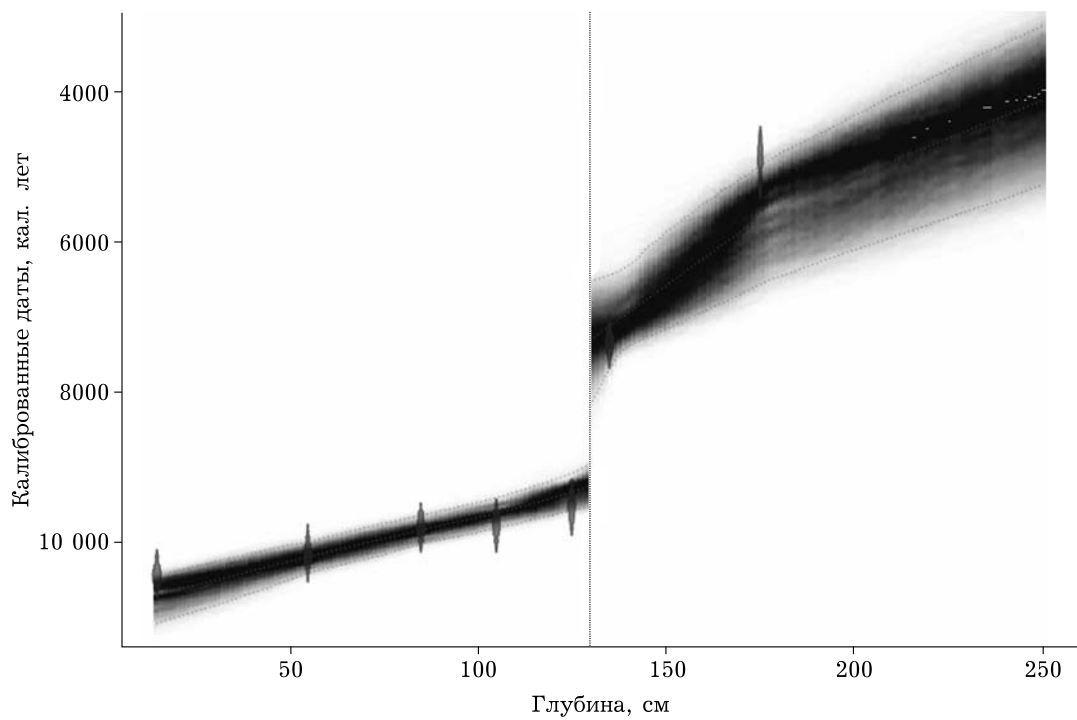


Рис. 2. Возрастная модель верхней части разреза № 449 (0–250 см) позднечетвертичных отложений, тукулан Кысыл-Сыр (Центральная Якутия)

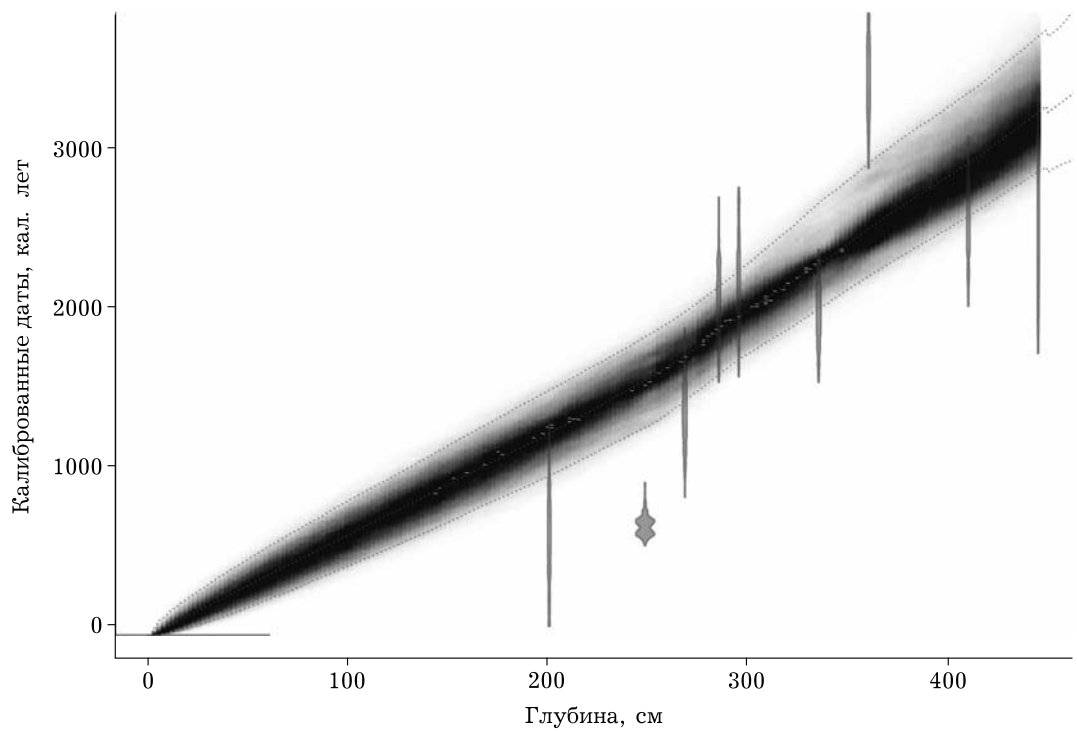


Рис. 3. Возрастная модель позднечетвертичных отложений разреза № 088 тукулана Махатта (Центральная Якутия)

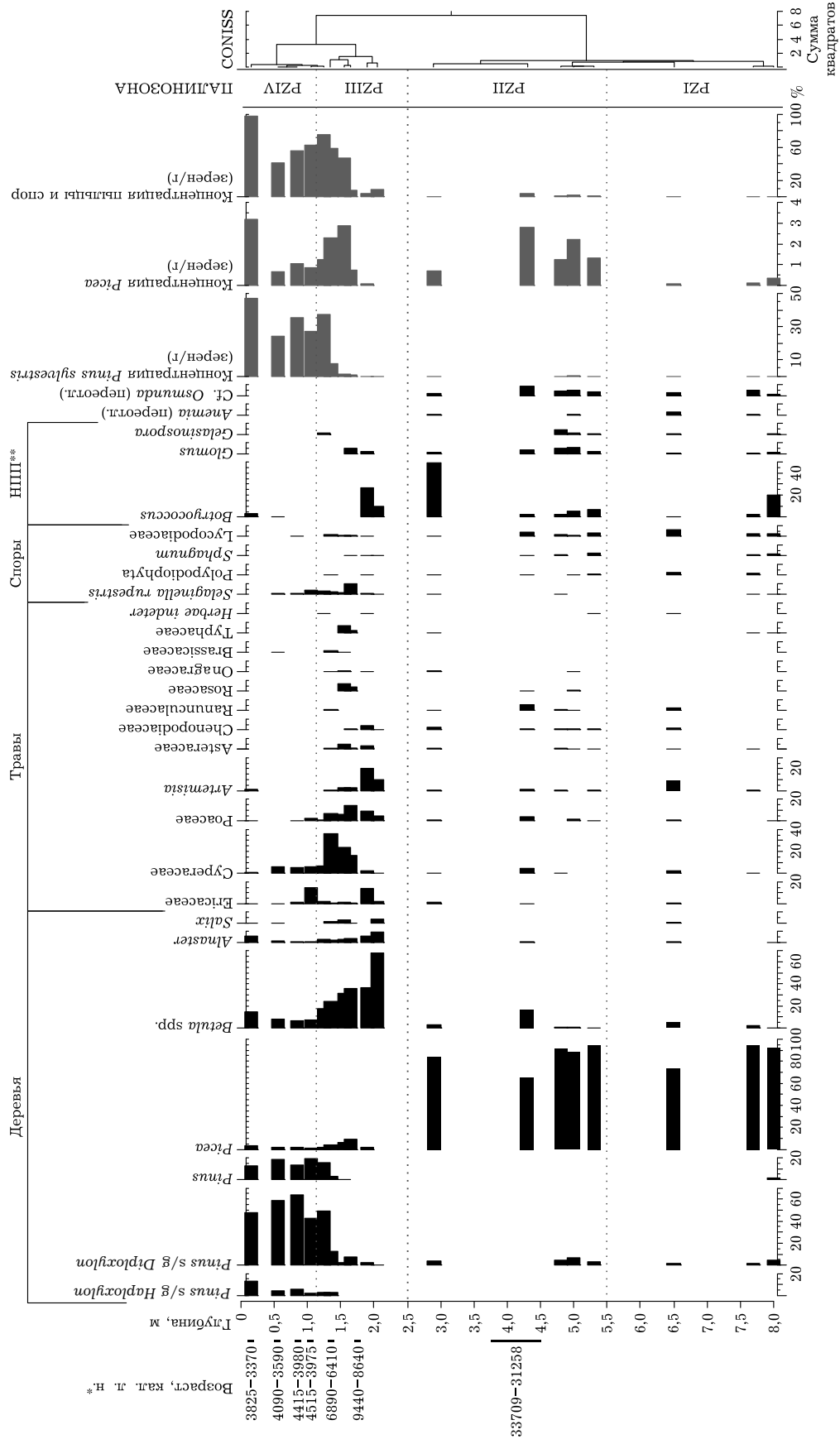


Рис. 4. Палинологическая диаграмма разреза № 449 позднечетвертичных отложений, тукулан Кысыл-Сыр (Центральная Якутия).

\* Полный перечень календарных дат приведен в табл. 3. \*\* НПШ - непольцевые палиноморфы

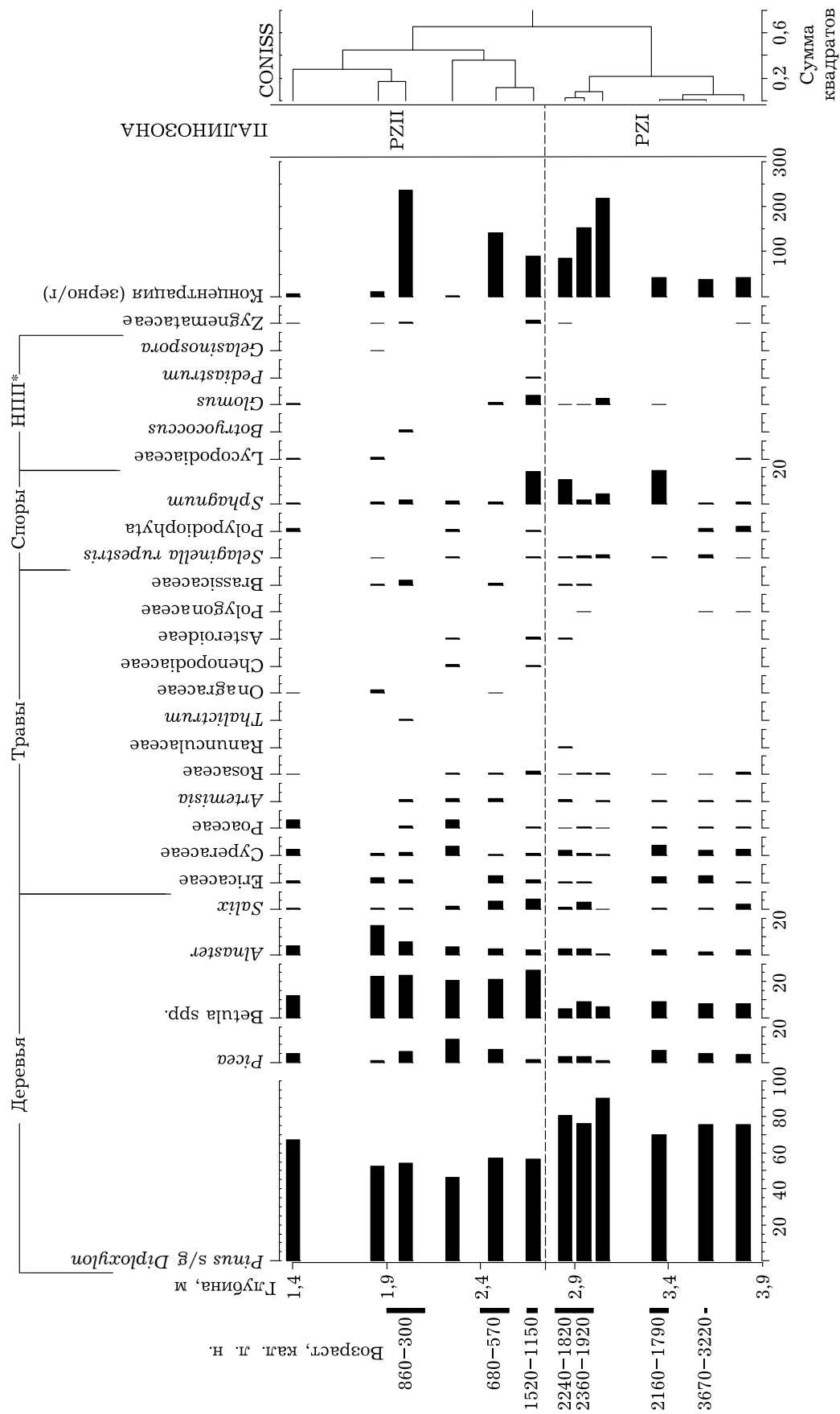


Рис. 5. Палинологическая диаграмма разреза № 088 позднечетвертичных отложений, тукулан Махагга (Центральная Якутия).

\* НИП – непольцевые палиноморфы



10,6 %. Концентрации пыльцы и спор в палинозоне увеличиваются в среднем для деревьев в 6–9 раз, трав – в 40 раз, спор – в 12 раз.

PZIV (1,3–0,1 м, 6700–3300 кал. л. н.). Палинозона отличается резким увеличением пыльцы древесных пород (до 98 %) по сравнению PZIII, с преобладанием хвойных – *Pinus s/g Diploxylon* (43,0–63,6 %), *Pinus s/g Harpoxylon* (2,0–13,0 %) и уменьшением пыльцы трав (2,3–9,2 %) с преобладанием *Syringaceae* и *Rosaceae*. Споры составляют 1,3–1,9 %.

Характеристика палинозон разреза № 088 тукулана Махатта.

PZI (4,0–2,8 м, 2600–1800 кал. л. н.). Палинозона отличается доминированием древесных пород (до 98,4 %), среди которых преобладает *Pinus s/g Diploxylon* (69,8–90,3 %). Присутствует небольшое количество пыльцы других деревьев *Picea* (1,3–7,1 %), *Betula spp.* (6,0–9,0 %) и *Alnaster* (0,6–3,4 %). Пыльца трав составляет 1,6–6,5 %, с преобладанием *Ericaceae*, *Syringaceae*, *Rosaceae*, *Rosaceae* и *Artemisia*; споры – 3,6–19,1 %. *Selaginella rupestris* составляет 0,3–2 %.

PZII (2,8–1,3 м, 1800–760 кал. л. н.). В целом доминируют древесные породы (86,3–96 %). Уменьшается содержание пыльцы *Pinus s/g Diploxylon* (46,5–67,2 %) и заметно увеличивается *Betula spp.* (12,3–26,2 %) и *Alnaster* (2,9–15,9 %). Пыльца трав составляет 3,5–9,3 %, с преобладанием *Ericaceae*, *Syringaceae*, *Rosaceae*; споры – 2–25,9 %. *Selaginella rupestris* составляет 0,1–0,8 %.

**Потеря при прокаливании.** Определение содержания общего органического вещества или потери при прокаливании при 450 °C (ППП<sub>450 °C</sub>) выполнено для 17 образцов разреза № 088. Результаты показаны на рис. 6. Нижняя часть разреза (5,0–4,0 м) представлена песком среднезернистым с прослоями детрита и характеризует современную фацию ручья Кысыл-Юрях, наледей и временных склоновых водотоков. Содержание ППП<sub>450 °C</sub> небольшое и постепенно увеличивается снизу вверх по разрезу с 0,27 до 3,41 %. Интервал с 4,0 по 2,8 м (2600–1100 кал. л. н.) представлен в основном торфом. ППП<sub>450 °C</sub> составляет 11,52–20,79 %. Верхняя часть разреза (1,9–0,02 м, 1100–0 кал. л. н.) сложена отложениями эоловой фации. Содержание ППП<sub>450 °C</sub>

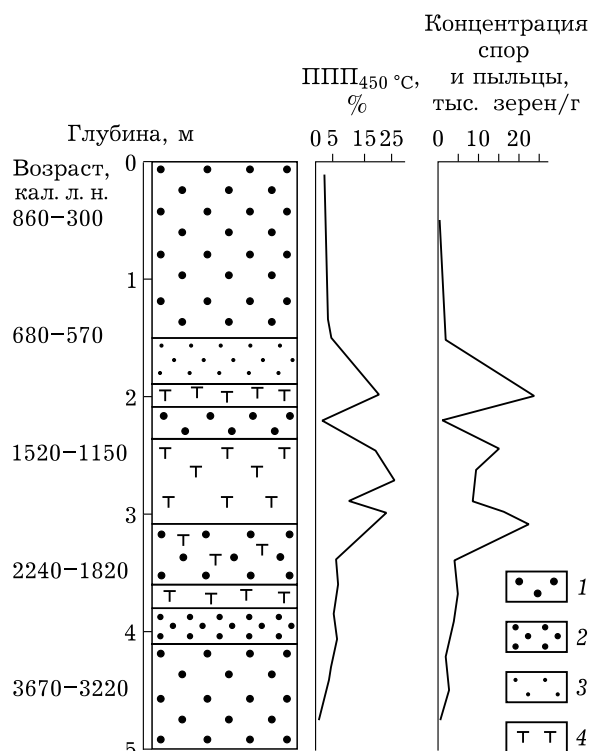


Рис. 6. Распределение органического вещества (ППП<sub>450 °C</sub>) по разрезу № 088, заложенного в пределах тукулана Махатта.

1 – песок среднезернистый, 2 – песок мелкозернистый, 3 – песок пылеватый, 4 – торф

уменьшается снизу вверх по разрезу с 1,74 до 0,09 %.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Строение осадочной толщи, на которой залегают, либо погребены тукуланы Вилойского бассейна, характеризуется пестрым фаціальным составом. Она содержит невыдержанные горизонты неясного флювиального генезиса, включая прослой пойменных и озерно-болотных отложений, древние почвенные и торфяные горизонты, единичные гальки и гравий, прослой дрейкантеров, погребенные эоловые наносы (отложения тукуланов), в также специфические син- и эпигенетические ледово-грунтовые жилы [Катасонова, Толстов, 1963; Катасонова, 1972]. Фаціальное разнообразие осадочной толщи с выраженными эоловыми горизонтами свидетельствуют об изменчивости и существенной нестабильности условий их накопления,

что затрудняет понимание генетической принадлежности данного комплекса в целом.

На основании литологических и палинологических данных выполнена предварительная реконструкция истории развития и динамики дюнных массивов – тукуланов Кысыл-Сыр и Махатта. Согласно результатам радиоуглеродного датирования хронологический интервал их формирования охватывает три морские изотопные стадии (МИС-3–МИС-1), что согласуется с полученными ранее данными [Урбан, Галанин, 2013] по изучению тукулана Кысыл-Сыр.

**Поздний плейстоцен.** В основании тукуланов Вилуйского бассейна (в частности, Махатта и Кысыл-Сыр) лежит аллювиальная пачка отложений, представленная косослоистыми песками среднезернистыми с прослоями гравия и мелкой гальки (русовая фация). На ее кровле залегают суглинки с тонкодисперсным растительным детритом (пойменная фация). Время формирования данной толщи относится к каргинскому интестадиялу. Согласно литературным данным [Гитерман, 1963; Томская, 1973; Величко, 1999; Фотиев, 2006], в этот период существовал достаточно суровый и резко континентальный климат, что способствовало формированию полей и покровов эоловых песков с сингенетическими повторно-жильными льдами.

Спорово-пыльцевые спектры, полученные авторами из аллювиальных отложений (палинозоны PZI–PZII, разрез № 449, тукулан Кысыл-Сыр), свидетельствуют об относительно бедном растительном покрове окружающих ландшафтов.

Многие исследователи [Гитерман, 1963; Шофман и др., 1977; Фотиев, 2006] сходятся на том, что в каргинское время в исследуемом регионе доминировали относительно сухие лиственнично-кустарниковые редколесья с примесью *Betula albae*, а также различные варианты кустарниковых тундр, обедненных степей (тундростепей) и лугов. На более сухих участках – водоразделах и бровках террас – встречались роци из *Pinus pumila* и *P. s/g Diploxylon*. Из кустарничков доминировали плаунки, верескоцветные и др.

Согласно результатам настоящего исследования, небольшое содержание в спектрах пыльцы *Picea* – представителя умеренно

влажной темнохвойной бореальной тайги, говорит о ее переотложенном характере из более древних осадков теплых эпох, предположительно Казанцевского межледникового. По литературным данным [Andreev et al., 2011], преобладание в спектрах *Suraceae*, *Roaseae* и высокое содержание переотложенной пыльцы *Pinaceae* отражают суровые условия и низкое биоразнообразие растительных сообществ. Высокое содержание переотложенной пыльцы свидетельствует о деградации (эрозии) более древних отложений, подтверждая тем самым разреженный растительный покров [Andreev et al., 2011].

В дальнейшем увеличение концентрации *Picea* в разрезе № 449 и пиковое ее содержание, которое приходится на период 31 000–33 000 л. н. (MPI-37), объясняются, по нашему предположению, локальным распространением данного вида в исследуемом районе. Возможно, в данный период существовали более благоприятные условия и ель произрастала в поймах или на пониженных участках (на основании проведения аналогии с современным развитием еловых лесов в данном регионе).

Выше каргинского пойменного горизонта в разрезе тукуланов залегают пачка эоловых отложений мощностью до 20–23 м, по нашим данным формировавшаяся в сартанский стадиал. О сухих и холодных климатических условиях той эпохи свидетельствует перекрестная слоистость песков, указывающая на поступательную динамику эоловых процессов и криотурбированность суглинистых отложений. Рыхлое сложение и высокая пористость предполагает воздушное осаждение частиц; крайне низкая льдистость и практически полное отсутствие растительных остатков указывают на климатические условия холодной криопустыни [Галанин и др., 2015б].

В данный период, возможно, происходит практически полное исчезновение древесной растительности на территории Вилуйского бассейна и в Центральной Якутии в общем, что приводит к распространению криостепей и каменистых полупустынь.

Данный факт подтверждается стратиграфическим перерывом в осадконакоплении в разрезе № 449 (тукулан Кысыл-Сыр) на глу-

бине 3–3,75 м, который приходится на сартанский стадиал (см. рис. 2).

С этим этапом совпадает первая стадия активного формирования тукулана Кысыл-Сыр, о чем свидетельствует мощная пачка песчаных отложений.

Эоловые процессы постепенно затухают около 12 500 л. н., а всхолмленная поверхность дюнных массивов начинает постепенно закрепляться куртинами *Artemisia*, *Thymus*, *Polygonum* и некоторых видов злаков. Сначала произошло закрепление наиболее пониженных участков – котловин выдувания и междюнных понижений [Галанин и др., 2015б].

**Голоцен.** В пределах тукулана Кысыл-Сыр в разрезе № 449 на глубине 0,2–1,7 м авторами вскрыта толща погребенного торфяника, перекрытого сверху толщей современных эоловых песков. Полученные спорово-пыльцевые и радиоуглеродные данные позволили с определенной точностью реконструировать события, которые происходили в пределах тукулана Кысыл-Сыр и изучаемого региона в целом за период 10 000–3000 л. н.

Авторами выделено два этапа развития дюнных массивов и изучаемой территории в данный период:

I этап продолжался 9900–6700 кал. л. н. (см. рис. 2). По данным А. А. Андреева с соавт. [Andreev et al., 2009], в районе исследования оказалась распространена лесотундра, характеризующаяся березовым редколесьем. Об этом свидетельствуют присутствие *Ericaceae* – типичного элемента северо-таежных и лесотундровых сообществ, а также *Selaginella rupestris* – яркого маркера тундр. В наиболее увлажненных днищах междюнных котловин тукуланов развивались луговые ассоциации, сменившиеся затем осоковыми болотами [Галанин и др., 2015б]. По нашим данным, к концу периода происходит уменьшение *Betula spp.* с 68,2 до 24,2 % и увеличении пыльцы *Superaceae* и *Roaceae*.

Изменение климата и условий осадконакопления привело к постепенному угасанию и затем полному затуханию в развитии дюнных массивов, в частности и тукулана Кысыл-Сыр.

Около 6000–5000 л. н. в его растительном покрове снова происходят существенные

изменения. В результате повышения среднегодовых температур увеличиваются глубины сезонного протаивания [Галанин и др., 2015б].

В течение II этапа (6700–3300 кал. л. н.) лесотундра постепенно отступает к северу, болота иссушаются, вследствие чего начинают преобладать сосновые леса, в основном из *Pinus s/g Diploxylon*, с примесью березы. Возможно, местами присутствовали березовые редколесья [Павлова и др., 2015; Andreev et al., 2011].

По данным А. А. Урбан [Урбан, Галанин, 2013], в данный период происходит активация дюнообразования в изучаемом регионе, которая началась около 5–4,5 тыс. л. н. после окончания бореального оптимума, что не соответствует полученным данным.

Авторы считают, что фаза активации эоловых процессов наступила на много позже – около 2,5 тыс. л. н. Это связано с похолоданием и аридизацией климата в данное время [Фотиев, 2006], а также с сильными пожарами, уничтожающими огромные площади лесов.

Дюноактивация происходила постепенно на общем фоне развития и закрепления поверхности тукуланов сосновыми лесами.

Вскрытая пачка отложений в разрезе № 088 с 4,0 по 2,8 м (2600–1100 кал. л. н.), представленная в основном торфом, как раз подтверждает факт благоприятных условий для развития растительности (концентрация спор и пыльцы от 3,7 до 23,6 тыс. зерно/г) и дальнейшего ее отложения (ППП<sub>450 °C</sub> составляет 11,52–20,79 %) в начале этапа.

В дальнейшем леса периодически подвергались пожарам, уничтожавшим огромные площади, что привело к активизации очередной (современной) фазы эоловых процессов. Данный факт подтверждается результатами вскрытия и описания осадочной толщи отложений изучаемых разрезов, в которых сохранился выдержанный горизонт со множеством углей и головешек деревьев на глубине 2–3 м от поверхности современных дюн.

Об активации эоловых процессов свидетельствуют данные полученные авторами в ходе определения содержания общего органического углерода в верхней части разре-

за № 088 (2,8–0,02 м, 1100–0 кал. л. н.), где происходит резкое сокращение растительного покрова (концентрация спор и пыльцы 637 зерно/г) и захоронения растительных остатков (ППП<sub>450</sub> °C уменьшается снизу вверх по разрезу с 1,74 до 0,09 %).

В дальнейшем происходит постепенное восстановление растительных сообществ после пожаров – увеличивается доля березы, которая затем вытесняется хвойными деревьями [Галанин и др., 2015б]. Полученные данные подтверждаются результатами спорово-пыльцевого анализа (PZI–PZII, разрез № 088) из разреза осадочной толщи тукулана Махатта за период 2600–700 л. н. Встречающиеся в спектрах споры гриба *Gelasinospora* – индикатора пожаров [Prescott et al., 2014] – также свидетельствуют о данном факте.

В нижней части разреза Махатта (5,0–4,0 м) залегает фация ручья Кысыл-Юрях, наледей и временных склоновых водотоков – суффозионно-пролювиальная, представленная песком среднезернистым с органическими остатками. Радиоуглеродные даты (MPI-85 – 2740–2350 MPI-89 – 2740–2350 кал. л. н.) подтверждают тот факт, что более молодые отложения (ручья и временных водотоков) залегают под более древними, и доказывают подмывание и оползание склона тукулана Махатта из-за его движения.

Во время Малого ледникового периода эоловые процессы в регионе вновь активизировались. Абсолютные даты погребенных почвенных горизонтов и деревьев свидетельствуют о том, что возраст современных активных дюн в Вилюйском бассейне не превышает 400–600 лет [Галанин и др., 2015а].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отложения дюнных массивов (тукуланов) Вилюйского бассейна по палинологическим и радиоуглеродным данным имеют позднеплейстоценовый – голоценовый возраст.

Тукуланы являются эоловым типом отложений, представленным погребенными и современными дюнными горизонтами, залегающими на осадочной толще сложного фациального строения. Она состоит из аллювиаль-

ных (русловой и пойменной), эоловых (погребенных тукуланов), озерно-болотных фаций, с прослоями гравия, гальки и дрейкантеров, погребенных древних почвенных и торфяных горизонтов, а также современными пролювиально-суффозионными отложениями.

В районе исследования за последние 40 тыс. лет выделены следующие этапы развития растительности:

I этап (каргинский интерстадиал – сартанский стадиал). Первая половина этапа характеризуется развитием листовеннично-кустарниковых редколесий с примесью *Betula sect. albae*, различных вариантов кустарниковых тундр, обедненных степей и лугов, а также островным развитием еловых лесов. В сартанский стадиал происходит полное исчезновение древесной растительности и развитие криостепей, каменистых полупустынь и пустынь.

II этап (9900–6700 кал. л. н.) – лесотундра с заболоченными участками.

III этап (6700–3300 кал. л. н.) – сосновые леса с примесью березы.

IV этап (2600–700 кал. л. н.) – сосновые леса и горельники.

Установлены стадии формирования дюнных массивов Вилюйского бассейна (на примере тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр): 1) активное развитие тукуланов (поздний плейстоцен); 2) затухание (ранний голоцен – начало среднего голоцена); 3) новая фаза развития тукулана (около 2500 л. н.), которая продолжается и по настоящее время.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-35-50147\_мол\_нр, гранта Главы республики Саха (Якутия) для студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов 2016 г., РФФИ-РС(Я) № 15-45-05129\_р\_восток\_а. Выполнение палинологического анализа проведено на средства Российского научного фонда (РНФ: 14-50-00036). Участие Н. А. Рудой поддержано за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров, а также при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ (Постановление № 220), полученного

ФГБОУ ВПО “Алтайский государственный университет”, проект № 2013-220-04-129 “Древнейшее заселение Сибири: формирование и динамика культуры на территории Северной Азии”.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев М. Н. Материалы по орографии кайнозойских отложений и геоморфологии центральной части Вилюйской впадины // Алмазы Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 181–226.
- Величко А. А. Изменение климата и ландшафтов за последние 65 млн лет. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.
- Галанин А. А., Дьячковский А. П., Лыткин В. М., Бурнашева М. П., Шапошников Г. И., Куть А. А. Результаты определения абсолютного возраста образцов в радиоуглеродной лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН // Наука и образование. 2015а. № 4. С. 45–49.
- Галанин А. А., Павлова М. Р., Дьячковский А. П., Павлов Б. А. Феномен тукуланов Центральной Якутии: плейстоценовая криопустыня // Наука и техника в Якутии. 2015б. № 2 (29). С. 23–31.
- Гитерман Р. Е. Этапы развития четвертичной растительности Якутии и их значение для стратиграфии. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 191 с.
- Григорьев К. Д., Павлов П. Д. О происхождении эоловых песков (тукуланов) Центральной Якутии // Природа и хозяйство Сибири. 1977. С. 53–54.
- Катасонова Е. Г. Криогенные образования в сезонно-протаивающих эоловых отложениях Центральной Якутии // Геокриологические и гидрогеологические исследования Сибири. Якутск: Якут. кн. изд-во, 1972. С. 80–89.
- Катасонова Е. Г., Толстов А. Н. Геокриологические особенности развееваемых песков (тукуланов) правобережья р. Вилюй // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 166–178.
- Павлова М. Р., Галанин А. А., Павлов Б. А. Геоморфологические особенности тукуланов долины нижнего течения р. Вилюй // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике: мат-лы Всерос. конф. (VII Щукинские чтения). М.: МАКС Пресс, 2015. С. 482–484.
- Павлова М. Р., Галанин А. А., Рудая Н. А. Палинологические и радиоуглеродные данные о верхнечетвертичных отложениях дюнного массива – тукулан Кысыл-Сырский (Центральная Якутия) // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2016. № 1 (13). С. 100–107.
- Палеопалинология / под ред. И. М. Покровской. Л.: Недра, 1966. Т. 1. 251 с.
- Пыльцевой анализ / под ред. И. М. Покровской. М.: Госгеоиздат, 1950. 570 с.
- Савин И. Ю., Павлов Б. А. Многолетние изменения поверхности тукулана Кысыл-Сыр, выявленные по космическим изображениям “Landsat” // Экология бассейна реки Вилюй: проблемы и перспективы исследований. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2015. С. 75–83.
- Томская А. И. История развития Якутии в четвертичном периоде // Палинология плейстоцена и плиоцена. М.: Наука, 1973. С. 99–102.
- Урбан А. А., Галанин А. А., Чжан Т. Р. Литолого-минералогическая характеристика перееваемого песчаного комплекса “Кысыл-Сырский” // Разведка и охрана недр. 2013. № 12. С. 23–27.
- Урбан А. А., Галанин А. А. Новые данные о строении и возрасте отложений эолово-мерзлотных образований Центральной Якутии (на примере тукулана Кысыл-Сыр) // Наука и образование. 2013. № 1. С. 77–81.
- Фотиев С. М. Современные представления об эволюции криогенной области Западной и Восточной Сибири в плейстоцене и голоцене // Криосфера Земли. 2006. Т. 10, № 2. С. 3–26.
- Шофман И. Л., Кинд Н. В., Пахомов М. М., Прокопчук Б. И., Виноградова С. Н., Сулержицкий Л. Д., Форова В. С. Новые данные о возрасте отложений низких террас в бассейне р. Вилюй // Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. 1977. № 47. С. 100–107.
- Andreev A. A., Grosse G., Schirrmeiser L., Kuznetsova T. V., Kuzmina S. A., Boborov A. A., Tarasov P. E., Novenko E. Y., Meyer H., Derevyagin A. Y., Kienast F., Bryantseva A., Kunitsky V. V. Weichselian and Holocene palaeoenvironmental history of the Bol'shoi Lyakhovsky Island, New Siberian Archipelago, Arctic Siberia // Boreals. 2009. Vol. 38. P. 72–110.
- Andreev A. A., Schirrmeiser L., Tarasov P. E., Ganopolski A., Brovkin V., Siebert C., Wetterich S., Hubberten H. W. Vegetation and climate history in the Laptev Sea region (Arctic Siberia) during Late Quaternary inferred from pollen records // Quaternary Sci. Rev. 2011. Vol. 30. P. 2182–2199.
- Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age – depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. 2011. Vol. 3, N 6. P. 457–474.
- Grimm E. CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the methods of incremental sum of squares // Computers & Geosci. 1987. Vol. 13. P. 13–15.
- Grimm E. TILIA and TILIAGRAPH. Springfield: Illinois State Museum. 1991. 56 p.
- Prescott C. L. et al. Assessing orbitally-forced interglacial climate variability during the mid-Pliocene Warm Period // Earth Planet. Sci. Lett. 2014. Vol. 400. P. 261–271.
- R: A language and environment for statistical computing // R Development Core Team. Vienna: R Foundation for Statistical. 2013.
- Reimer P. J et al. Intcal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP // Radiocarbon. 2009. Vol. 51. P. 1111–1150.

Santisteban J. I., Mediavilla R., Lypez-Pamo E., Dabrio C. J., Zapata M. B. R., Garcia M. J. G., Castano S., Martinez-Alfaro P. E. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbo-

nate mineral content in sediments // *J. Paleolimnol.* 2004. Vol. 32. P. 287–299.  
Stockmarr J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis // *Pollen et Spores.* 1971. Vol. 13. P. 615–621.

## **The Structure and Dynamics of the Dune Massifs from the Vilyui River Basin in Late Quaternary (Case Study of Maxatta and Kysyl-Syr Tukulans)**

M. R. PAVLOVA<sup>1</sup>, N. A. RUDAYA<sup>2,3,4,5</sup>, A. A. GALANIN<sup>1</sup>, G. I. SHAPOSHNIKOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Melnikov Institute of permafrostology, SB RAS  
677010, Yakutsk, Merzlotnaya str., 36  
E-mail: Nigaer@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Institute of Archaeology and Ethnography, SB RAS  
630090, Novosibirsk, Acad. Lavrentiev ave., 17*

<sup>3</sup> *Novosibirsk State University  
630090, Novosibirsk, Pirogova str., 2*

<sup>4</sup> *Kazan (Volga) Federal University  
420008, Kazan, Kremlevskaya str., 18*

<sup>5</sup> *Altai State University  
656049, Barnaul, Dimitrova ave., 66*

Results of complex investigation of deposits from the dune massifs – tukulans Mahatta and Kysyl-Syr from the Vilyui river basin (Central Yakutia) are presented. On the basis of lithological and palynological data, and also on 17 radiocarbon dates, we reconstructed the structure of tukulans, performed a preliminary reconstruction of their development in the Vilyui river basin and of the environmental conditions during the chronological interval of their formation: Late Pleistocene – Holocene. We found that tukulans represent an aeolian type of deposits lying on sedimentary layers of a complex facial structure. Development of the vegetation during the last 40 thousand years can be divided into four stages; development of the tukulans is represented by three chronostratigraphical phases.

**Key words:** tukulans, lithology, radiocarbon dating, age model, palynology, Pleistocene, Holocene, Central Yakutia.