

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

УДК 551.4: 551.8

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-6(3-15)

ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ДЮННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ (ДЬОЛКУМИНСКАЯ СВИТА) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ (Часть 1)

А.А. Галанин, М.Р. Павлова, И.В. Климова

*Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; agalanin@gmail.com*

На примере нового опорного разреза Кысыл-Сырский в бассейне р. Виллой рассмотрены особенности строения, фациального состава и возраста перекрестно-слоистых супесчаных отложений дьолкуминской свиты, распространенных в Центральной Якутии в широком гипсометрическом диапазоне. Эти отложения формировались с конца каргинского термохрона до начала голоцена (от 35 тыс. до 12–10 тыс. лет назад) в условиях сильного иссушения и опустынивания. На протяжении бореального оптимума голоцена происходило закрепление дюнных покровов почвенно-растительным покровом. Формирование современных незакрепленных дюнных массивов началось около тысячи лет назад и связано с климатическими событиями Малого ледникового периода.

Дюны, эоловые образования, гранулометрический состав, минералогия, абсолютный возраст, палинология, криолитозона, дьолкуминская свита, плейстоцен, четвертичный период

LATE QUATERNARY DUNE FORMATIONS (D'OLKUMINSKAYA SERIES) IN CENTRAL YAKUTIA (PART 1)

A.A. Galanin, M.R. Pavlova, I.V. Klimova

*Melnikov Permafrost Institute, SB RAS,
36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia; agalanin@gmail.com*

The data inferred from a new key section in the basin of the Vilyuy river allowed us to examine the structural-faces features and absolute age of cross-layered sandy-loam sediments of the D'olkuminskaya series distributed in Central Yakutia in a wide hypsometric range. These deposits had formed in the period from the latest Kargin thermochron to the beginning of the Holocene (between 35 ka and 12–10 ka BP) under the overwhelming conditions of severe desiccation and desertification of the area. During the Boreal optimum of the Holocene, the soil-vegetation cover had largely provided for the stabilization of dune covers. The formation of the contemporary moving-dune massifs had taken place not more than one thousand years ago and had been directly linked with the climatic events of the Little Ice Age.

Dunes, aeolian formations, grain size distribution, dunes mineralogy, absolute age, palynology, cryolithozone, D'olkuminskaya series, Pleistocene, Quaternary period

ВВЕДЕНИЕ

Области развития дюнных массивов широко распространены в холодных регионах Северного полушария, включая Канаду, Аляску, Европу и Россию. Р.Ф. Блэк [Black, 1951] указывает, что четвертичные эоловые отложения, включающие лессы и дюнные пески, покрывают более половины территории Аляски и Канады. Только в пределах Аляскинской прибрежной арктической равнины площадь позднечетвертичных дюнных массивов превышает 12 тыс. км² [Wolfe et al., 2011]. В пределах криолитозоны Северной Евразии значительное распространение дюнных покровов такого же возраста установлено в обрамлении Полярного Урала [Астахов, Свенсен, 2011], на равни-

нах Западной Сибири [Величко, Тимирева, 2005], в Забайкалье и Прибайкалье [Иванов, 1966; Уфимцев и др., 1997; Выркин, 2010].

Обширные массивы волнисто- и перекрестно-слоистых кварцевых супесей (дьолкуминская свита) мощностью до 15–25 м известны в бассейнах Лены, Виллой, а также их притоков, они занимают до 30 % площади отдельных районов Центральной Якутии [Павлов, 1981; Колтаков, 1983; Куть, 2015]. Располагаясь в окружении сплошной мерзлоты с температурами –4...–5 °С и мощностью 250–400 м, они характеризуются уникальным для региона наличием межмерзлотных таликов мощностью в несколько десятков метров, разгружающихся в виде

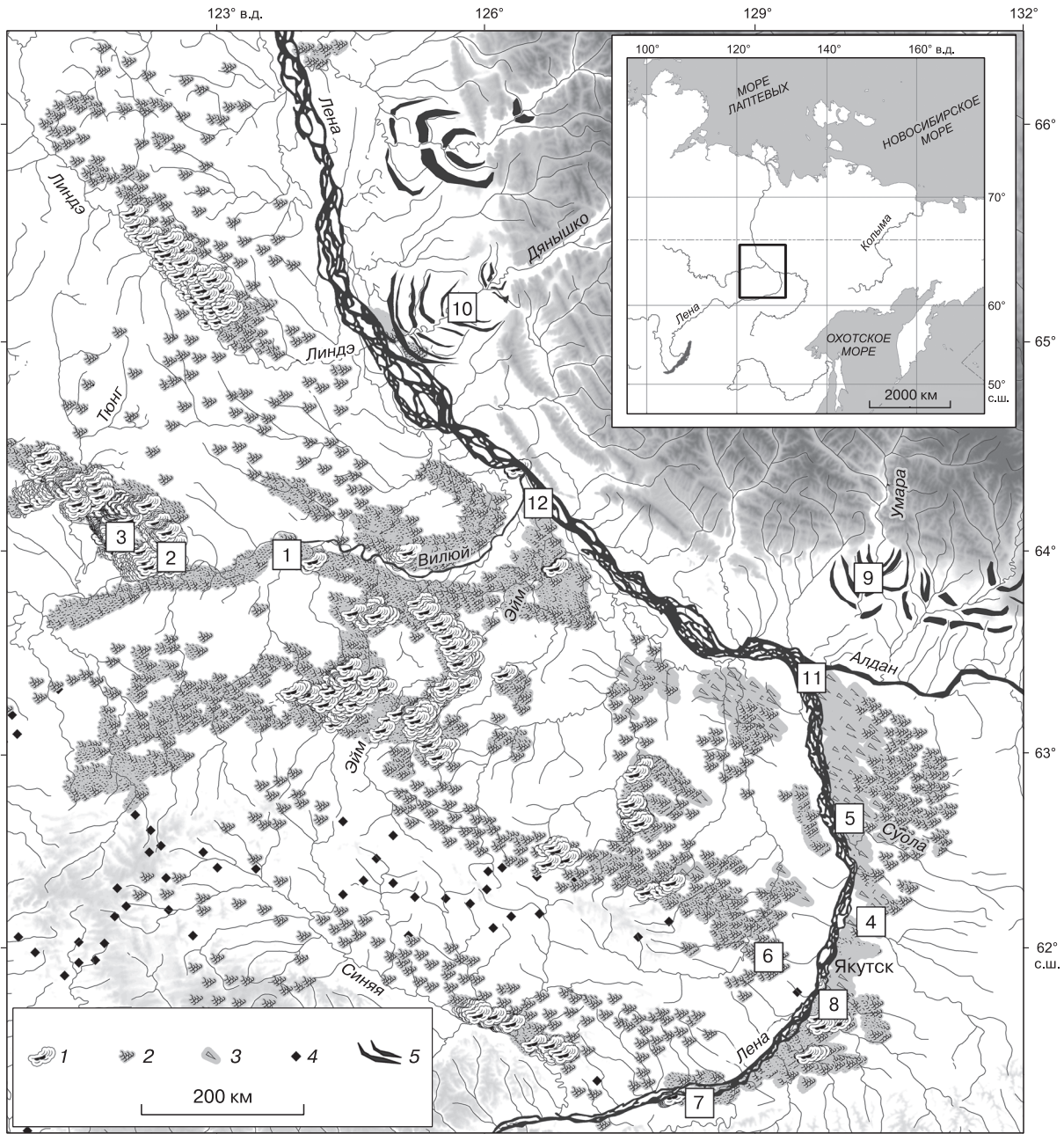


Рис. 1. Схема выраженных в рельефе позднечетвертичных и современных покровных дюнных образований Центральной Якутии и расположение ключевых опорных обнажений.

1 – современные незакрепленные дюнные массивы (тукуланы); 2, 3 – закрепленные в голоцене массивы копьевидных и параболических дюн соответственно; 4 – распространение ветрогранников и фасеточных камней по [Колтаков, 1983]; 5 – морены выводных ледников верхоянского оледенения. Цифры в квадратах – ключевые участки и опорные разрезы дюл-куминской свиты: 1 – Кысыл-Сырский туюлан [Галанин и др., 2016; Павлова и др., 2017]; 2 – юго-восточная часть туюлана Махатта [Павлова и др., 2017]; 3 – центральная часть туюлана Махатта; 4 – Мегинское местонахождение мамонтовой фауны в нижнем течении р. Суола; 5 – обнажение Песчаная Гора [Алексеев и др., 1984; Камалетдинов, Минюк, 1991; Спектор и др., 2017]; 6 – бассейн р. Шестаковка и оз. Чабада; 7 – Усть-Ботуомское обнажение [Алексеев и др., 1984]; 8 – обнажение Диринг-Юрях [Камалетдинов, Зигерт, 1989; Waters et al., 1999]; 9, 10 – перекрытые эоловыми отложениями конечно-моренные комплексы верхоянского оледенения [Зигерт и др., 2007]; 11, 12 – срезанные дефляцией участки низких террас и заблокированные днами протоки Лены и Вилюя [Колтаков, 1983].

высокодебитных источников высококачественных питьевых вод [Шепелев, 2011]. На участках разгрузки формируются термосуффозионно-наледные цирки. В бассейне нижнего течения р. Вилюй наиболее известны круглогодичные источники Махатта с дебитом около 760 л/с.

Уже более полувека обсуждаются вопросы возраста и генезиса дьолкуминской свиты. Ряд исследователей считают их дюнными покровами, сформировавшимися в результате кардинального опустынивания на протяжении последнего криохрона [Колпаков, 1983; Алексеев и др., 1984; Камалетдинов, Зигерт, 1989; Камалетдинов, Минюк, 1991; Галанин и др., 2016; Павлова и др., 2017; Waters et al., 1999]. Другие полагают, что они имеют аллювиально-озерное происхождение и отлагались в пльвиальных (умеренно влажных) обстановках [Соловьев, 1959; Алексеев, 1961; Геокриология СССР, 1989; Большиянов и др., 2016; Спектор и др., 2017]. В рамках наиболее неординарных гипотез в этих образованиях находят свидетельства гляциально-гидрогенной катастрофы (потопа) – мощных наводнений (сёрджей), связанных с прорывами подпрудно-ледниковых бассейнов на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена [Спектор и др., 2017]. Высказываются также предположения, что перекрестно-слоистые супеси формировались в результате позднеплейстоценовых морских трансгрессий [Поморцев и др., 2017].

Накопленные к настоящему времени абсолютные датировки однозначно свидетельствуют о позднеплейстоценовом (МИС-2) возрасте дьолкуминской свиты [Алексеев и др., 1984; Камалетдинов, Зигерт, 1989; Камалетдинов, Минюк, 1991; Зигерт и др., 2007; Галанин и др., 2015, 2016; Большиянов и др., 2016; Павлова и др., 2017; Waters et al., 1999], однако представления о ее происхождении кардинально различаются. Изучение покровных супесчаных отложений важно для понимания всей истории позднеледникового Якутии и Восточной Сибири. В настоящей работе обсуждаются результаты криостратиграфических исследований нового Кысыл-Сырского опорного разреза позднечетвертичных дюнных образований в бассейне нижнего течения р. Вилюй (рис. 1), полученные в ходе полевых работ 2012–2015 гг.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения Кысыл-Сырского дюнного массива (рис. 2) были использованы стандартные подходы фациального анализа и стратиграфии, включающие геоморфологическое обследование, поиск, зачистку и описание естественных обнажений, изучение литологии, седиментационных и криогенных текстур, отбор проб для различных видов анализа, включая абсолютное датирование отложений, и др.

Гранулометрический анализ супесчаных проб (117 шт.) выполнен стандартными [Шванов, 1969] методами ситового отсева и ареометрии в гранулометрической лаборатории ИМЗ СО РАН. Статистическая обработка результатов производилась в программе Gradistat [Blott, Pye, 2001] по модифицированному геометрическому методу Р. Фолка и Д. Варда [Folk, 1980; Blott, Pye, 2001]. Средний (x) и медианный (Md) размеры зерен рассчитаны в микрометрах (мкм). Остальные показатели: коэффициент сортировки зерен (σ), асимметрия (α) и эксцесс (τ) – в безразмерных единицах логарифмических шкал [Folk, 1980; Blott, Pye, 2001]. В рамках использованной методики, коэффициент сортировки принимает целочисленные значения: $\sigma < 1.27$ – высокая сортировка, $1.62 < \sigma < 2.0$ – умеренная сортировка, $\sigma > 2.0$ – плохая сортировка отложений.

Коэффициент асимметрии α может принимать значения от -1 до $+1$. Нулевые значения указывают на симметричное распределение. Отрицательные свидетельствуют о наличии “хвостов” мелких фракции, указывая на их вынос и накопление крупных фракций. Положительная асимметрия означает накопление мелких фракций.

Эксцесс τ может принимать только положительные значения и отражает степень сортировки зерен в центре распределения относительно его краев. Более высокие значения эксцесса описывают островершинные распределения, характерные для образцов с высокой степенью сортировки. Низкие значения ($\ll 1$) свойственны пологим и плосковершинным распределениям. Равный 1 эксцесс указывает на нормальное распределение.

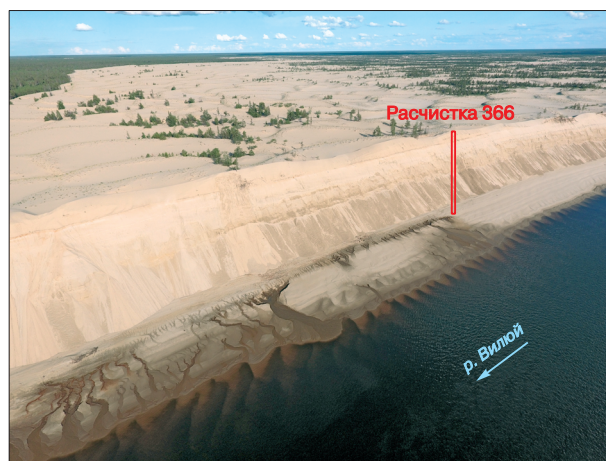


Рис. 2. Кысыл-Сырский опорный разрез позднечетвертичных дюнных образований в обрыве 30–35-метровой террасы с выходами межмерзлотных источников в русло р. Вилюй (Центральная Якутия) и положение опорной расчистки 366.

Июль 2016 г., летняя межень. Фото А.А. Галанина.

Результаты гранулометрических анализов и рассчитанные статистические характеристики отображались на диаграммах, а также группировались по фациям с оценкой средних значений (см. таблицу).

Минералогический анализ проб (38 шт.) выполнялся в лаборатории ИМЗ СО РАН с использованием бинокулярного микроскопа и поляризационного минералогического микроскопа, а также иммерсионных жидкостей. Минералогический анализ осуществлялся для модальной фракции (100–250 мкм), которая извлекалась с помощью сит из предварительно отмученного образца.

Абсолютный возраст отложений изучен на основе ¹⁴C (28 датировок) и оптико-люминесцент-

ных (ОСЛ) датировок (2 датировки). Радиоуглеродный анализ выполнен авторами методом жидкостной сцинтилляции [Ковалюх, Скрипкин, 2007] на спектрометре-радиометре Quantulus 1220 в радиоуглеродной лаборатории ИМЗ СО РАН (Якутск). Калибровка ¹⁴C-дат производилась с использованием программы OxCal 4.3 [Bronk, 2009] для 95%-го уровня значимости. Серия перекрестных датировок выполнена сцинтилляционным методом в радиоуглеродной лаборатории ГИН РАН (Москва) и методом ускорительной масс-спектрографии (АМС) в Центре изотопных исследований Университета Гронингена (Нидерланды). Сопоставление результатов показало высокую сходимость (98 %) датировок.

Обобщенная характеристика гранулометрического состава некоторых фаций современных и позднелейстоценовых супесчаных отложений бассейна нижнего течения р. Вилюй, рассчитанные по модифицированному геометрическому методу Р. Фолка и Д. Варда [Folk, 1980; Blott, Pye, 2001]

Фация (количество проб)	Среднее значение гранулометрической статистики				
	Средний размер зерен (x, мкм)	Коэффициент сортировки (σ)	Асимметрия (α)	Экссесс (τ)	Медиана (Md, мкм)
<i>Современные незакрепленные дюнные массивы</i>					
Транзитно-аккумулятивный участок дюны (32)	295 ± 29	1.56 ± 0.08	-0.28 ± 0.09	1.12 ± 0.21	315 ± 19
Подветренный склон дюны (13)	299 ± 48	1.50 ± 0.15	-0.17 ± 0.14	0.95 ± 0.18	312 ± 37
Котловина выдувания незакрепленная (10)	284 ± 153	1.62 ± 0.11	-0.28 ± 0.08	1.06 ± 0.13	310 ± 13
Котловина выдувания незакрепленная (2)	238 ± 3	1.73 ± 0.06	-0.07 ± 0.04	0.78 ± 0.05	248 ± 3
Котловина выдувания незакрепленная с гравием (4)	819 ± 62	2.69 ± 0.36	-0.47 ± 0.08	0.71 ± 0.12	1160 ± 215
<i>Современные частично закрепленные дюны</i>					
Котловина выдувания, слабо закрепленная деревьями (1)	206	1.64	0.12	0.78	198
Подветренный склон активной дюны с единичными деревьями (2)	256 ± 7	2.02 ± 0.18	-0.01 ± 0.11	1.14 ± 0.13	277 ± 14
Биогенно-эоловые бугры мелкие (12)	257 ± 12	1.62 ± 0.03	-0.27 ± 0.05	0.82 ± 0.09	281 ± 15
Биогенно-эоловые бугры крупные (2)	209 ± 0.3	1.63 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.78 ± 0.01	201 ± 1
Суффозионно-пролювиальные (1)	270	1.76	-0.19	0.97	299
<i>Современные аллювиальные отложения р. Вилюй в пределах ареалов дюнных массивов</i>					
Русловая (4)	343 ± 261	1.50 ± 0.03	-0.10 ± 0.15	1.42 ± 0.11	347 ± 18
Стрежневая косослоистая (3)	376 ± 161	1.46 ± 0.18	0.12 ± 0.07	1.17 ± 0.15	370 ± 5
<i>Позднелейстоценовые дюнные отложения Кысыл-Сырского опорного разреза</i>					
Перекрестно-слоистые дюнные пески сартанского криохрона по расчистке 366 (12)	300 ± 40	1.6 ± 0.1	-0.22 ± 0.08	1.03 ± 0.2	318 ± 32
<i>Аллювиальные позднелейстоценовые отложения в основании Кысыл-Сырского опорного разреза, расчистка 366</i>					
Стрежневые линзовидно- и косослоистые пески (5)	340 ± 33	1.7 ± 0.2	-0.08 ± 0.20	1.5 ± 0.26	338 ± 21
Плесовые горизонтально-слоистые супеси пылеватые с прослоями суглинков (5)	204 ± 60	1.92 ± 0.2	-0.20 ± 0.16	1.1 ± 0.27	216 ± 33
Пойменные горизонтально-слоистые супеси пылеватые (4)	160 ± 37	1.66 ± 0.04	-0.10 ± 0.06	0.92 ± 0.11	225 ± 75
Старичные горизонтально-слоистые интенсивно-оглеенные суглинки (5)	37 ± 22	5.11 ± 1.15	-0.37 ± 0.06	1.14 ± 0.19	52 ± 35

Инфракрасное и ОСЛ-датирование двух образцов дюнных кварцевых супесей выполнено в лаборатории четвертичной геохронологии Геологического института (Таллин, Эстония).

Полный перечень датировок, полученных для Кысыл-Сырского опорного разреза и других обнажений дъолкуминской свиты, а также историю ее формирования планируется опубликовать во второй части статьи. Некоторые перекрестные даты приведены ранее в [Галанин и др., 2015, 2016].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Геоморфология и ландшафты Кысыл-Сырского массива

Выбор Кысыл-Сырского дюнного массива (63.9° с.ш., 123.3° в.д.) в качестве ключевого объекта исследований (см. рис. 1, 2) обусловлен следующими его характеристиками.

1. Геоморфологические условия. Поверхность массива (тукулана) характеризуется ярко выраженным сложноорганизованным дюнным рельефом, общая площадь закрепления которого составляет не более 10%. Массив имеет компактные размеры 6 × 4 км и эллипсоидную форму, вытянутую в юго-западном направлении.

2. Хорошая естественная обнаженность и высокая информативность разреза в береговом обрыве высотой до 35 м и протяженностью около 2 км. Здесь установлены пестрые фациальные наборы аллювиальных и эоловых отложений, насыщенные маркирующими горизонтами, поверхностями размыва и дефляции, слоями с намывной органикой, погребенными почвами с линзами торфяников и вертикально погребенными деревьями. Некоторые пачки отложений содержат богатый органический материал для датирования по ¹⁴C и стратиграфического анализа.

3. Компактность массива (размеры 6 × 4 км, площадь около 19 км²) облегчает его ландшафтно-геоморфологическое обследование и дает возможность пересечения пешими маршрутами.

4. Доступность Кысыл-Сырского опорного разреза автомобильным и водным транспортом дает возможность повторного обследования и пополнения данных.

В морфометрическом отношении дюнный массив асимметричен. Вскрытая в речном обрыве северная часть имеет абсолютные отметки до 110–116 м и возвышается над урезом р. Вилюй (79–80 м) в виде террасы высотой 30–36 м. В юго-восточном направлении поверхность массива полого снижается до абсолютных отметок 85–90 м в краевой части, практически смыкаясь с уровнем современной поймы высотой 5–10 м.

В пределах закрепленных участков Кысыл-Сырского тукулана, площадь которых не превышает 10%, развиты небольшие островки разре-

женных сосново-березовых лесов с лишайниково-толокнянковым покровом, примесью шикши, брусники, кустарниковых ив, изредка тополя и лиственницы (*Pinus sylvestris*, *Betula platyphylla*, *B. alba*, *Salix bebbiana*, *Populus suaveolens*, *Larix gmelinii*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*). В задернованных переувлажненных котловинах южной части массива встречаются кустарниковая береза, багульник болотный, мирт болотный, изредка ель, кедровый стланик, клюква, хвощи и др. (*Chamaedaphne calyculata*, *Betula exilis*, *Ledum palustre*, *Oxycoccus microcarpus*, *Equisetum fluviatile*, *Picea obovata*, *Pinus pumila*). Кедровый стланик обнаружен только в южной части Кысыл-Сырского тукулана, где он образует крупные группировки на биогенно-эоловых супесчаных буграх и гривах.

Не менее 90% поверхности Кысыл-Сырского массива сложено незакрепленными активными параболическими дюнами, котловинами и коридорами выдувания, группирующимися в несколько иерархических порядков. Лишь на бровке берегового обрыва р. Вилюй в северной части дюнного массива развивается накидная дюна протяженностью более 2 км (см. рис. 2). Она состоит из системы частично сомкнутых извилистых узких гребней высотой до 10–12 м, в подветренной части которых развиты наиболее глубокие и узкие котловины и воронки выдувания.

Во внутренней части тукулана распространены чешуевидные параболические и асимметричные полисинтетические дюны (см. рис. 2). Средняя длина элементарных дюн варьирует от 100 до 150 м, а высота бровок 4–6 м. В отдельных случаях длина дюн достигает 250 м, а высота превышает 20 м. Наветренный склон активных дюн пологий (2–4°), начинается в элементарной котловине выдувания и, как правило, полностью лишен растительного покрова. Подветренный склон элементарных дюн более крутой, осыпающийся, близок к углу естественного откоса (25–30°).

Ширина котловин выдувания пропорциональна размерам элементарных дюн и варьирует в среднем от 50 до 150 м, глубина достигает 6–10 м. Встречаются гипертрофированные котловины шириной 300 м и более. Котловины выдувания имеют серповидную или эллипсоидную форму и большей частью лишены растительного покрова. Их днища покрыты крупным песком, реже мелким гравием экзотического состава (гранат, агат, халцедон, оникс). Единично встречены отполированные фасеточные гальки и ветрогранники, кварцевые фульгуриты, почвенные трубки (орштейны) [Галанин и др., 2017]. На поверхности незакрепленных котловин иногда наблюдаются вертикально стоящие и поваленные мертвые деревья, обнаженные в результате дефляции горизонты пней.

Растительный покров незакрепленных дюн и котловин выдувания представлен разреженными кочками и куртинами трав и полукустарничков – овсяницей, осоками, тимьянами, горцами, полыню, хвощем, пыреем, вздутоплодником, щавелем (*Festuca auriculata*, *Acetosella graminifolia*, *Aconogonon angustifolium*, *Artemisia commutata*, *Thymus asiaticus* Serg., *Carex vanheurckii*, *Equisetum arvense*, *Elytrigia villosa*, *Phlojodicarpus sibiricus*). Изредка в пределах незакрепленных дюн встречаются живые карликовые биоморфы сосны, березы, тополя, рябины (*Pinus sylvestris*, *Betula* sp., *Populus* sp., *Sorbus sibirica*), высотой до 2–3 м.

Микрорельеф более низких порядков представлен формами от нескольких сантиметров до 10 м. К ним относятся разнообразные знаки эоловой ряби на поверхности дюн. Более крупными образованиями являются эолово-биогенные бугры диаметром до 7–8 м и высотой 3–4 м. Они формируются в результате аккумуляции песка кустарниковыми формами березы, тополя, ивы (*Betula pubescens*, *B. cojanderi*, *B. exilis*, *Salix* sp.) и др. На участках распространения кедрового стланика (*Pinus pumila*) высота бугров достигает 10–12 м, появляются извилистые песчаные гривы длиной в несколько десятков метров, бровки которых закреплены густо переплетенными живыми и отмершими корнями этого кустарника.

Гранулометрический состав современных незакрепленных дюн

Гранулометрический состав современных отложений Кысыл-Сырского тукулана охарактеризован на основе 80 проб, отобранных из разных фаций с поверхности незакрепленных дюн. Для сравнения гранулометрических составов также были исследованы пробы из современного русла и поймы р. Вилюй (см. таблицу).

Установлено, что в пределах современных интенсивно-перевеиваемых параболических дюн накапливаются супеси со средним размером частиц ($280 \text{ мкм} < x < 300 \text{ мкм}$), имеющие хорошую сортировку ($1.5 < \sigma < 1.6$), слабую отрицательную асимметрию ($-0.28 < \alpha < -0.01$), свидетельствующую о выносе мелких фракций (см. таблицу). Они имеют средний эксцесс ($0.7 < \tau < 1.1$), характерный для среднеполовершинных (нормальных) распределений.

В крупных хорошо проработанных дефляцией котловинах выдувания накапливаются фракции крупного песка ($x = 800 \pm 61.93 \text{ мкм}$) и примесь мелкого гравия, что отражается в увеличении значений отрицательной асимметрии ($\alpha = -0.47 \pm 0.08$), ухудшении сортировки ($\sigma = 2.69 \pm 0.36$) и уплощении распределений ($\tau = 0.71 \pm 0.12$). На участках затухания дефляции и частичного закрепления дюнного рельефа поверхностные отложения обогащаются более тон-

кими фракциями ($200 \text{ мкм} < x < 210 \text{ мкм}$), улучшается их сортировка, а распределения становятся более симметричными (см. таблицу).

Гранулометрический состав аллювиальных отложений современного Вилюя, отобранных из фации подводных дюн (перекаты) и прирусловых отмелей, характеризуется более крупными средними размерами частиц ($340 \text{ мкм} < x < 375 \text{ мкм}$), хорошей сортировкой ($1.17 < \sigma < 1.5$) и крутовершинными ($1.17 < \tau < 1.4$) симметричными распределениями. Современные пойменные фации имеют существенно меньший средний размер зерен ($x = 160 \pm 37 \text{ мкм}$), характеризуются симметричным нормальным распределением (см. таблицу).

В отличие от современных дюнных отложений, фации современного аллювия характеризуются более контрастной и значительной вариацией всех гранулометрических характеристик, что может быть связано с сезонной динамикой руслового процесса – отложением на одном и том же участке более крупных фракций в половодье и более тонких в период межени.

Минералогический состав современных дюнных отложений

Установлено, что минералогический состав современных дюнных фаций характеризуется повышенным содержанием легкой фракции (удельный вес менее 2.9 г/см^3), в которой доминирует кварц (85–97 %). В небольшом количестве (<10 %) присутствуют полевые шпаты, обломки песчаников. Зерна кварца, как правило, чистые, прозрачные, имеют округлую форму, местами их поверхность покрыта бурыми потеками и гидроокислами. В некоторых образцах превосходно окатанные зерна кварца были цементированы гидроокислами железа.

Среди новообразованных минералов в дюнных отложениях распространены органические включения, гидроокислы железа и марганца, хлорит, глинистые минералы. Изредка встречаются экзотические минералы тяжелой фракции (гранаты, ильменит, рутил) и окатанные зерна устойчивых минералов – яшмы, халцедона, опала, оникса. В ходе минералогического анализа были идентифицированы единичные панцири диатомовых водорослей.

На поверхности некоторых котловин выдувания накапливается мелкий гравий (1–5 мм) экзотического минералогического состава (гранат, эпидот, яшма, халцедон и др.). Зерна минералов, как правило, имеют хорошую и совершенную степень окатанности, значительная их часть отполирована. Единично встречаются отполированные ветром фасеточные гальки и ветрогранники.

Экзотической особенностью минералогии современных дюнных супесей являются очаговые скопления кварцевых фульгуритов и железомар-

ганцевых трубок и конкреций (оргштейнов) [Галанин и др., 2017]. Первые представлены трубчатыми формами длиной 3–5 см (реже до 30 см) и толщиной от 0.3 до 2 см, образованными оплавленными обломками дюнного песка, плотно спаянными белым прозрачным кварцевым стеклом с коэффициентом преломления менее 1.5.

Железомарганцевые трубки достигают длины 5–6 см и диаметра 3–10 мм и состоят из кварцевого песка, сцементированного соединениями железа, марганца и кислорода с примесью углерода в разных пропорциях [Галанин и др., 2017]. Вместе с аутигенными железом и марганцем в них установлены высокие содержания кобальта, никеля, мышьяка, значительно превосходящие концентрации этих элементов в исходных дюнных песках. Почвенные трубки, именуемые также педотубулами, формируются внутри профиля развитой палеопочвы вокруг корневых систем древесной растительности в условиях хорошей аэрации. После деградации растительного покрова и ветровой эрозии почвы трубчатые железомарганцевые конкреции, фульгуриты и ветрогранники накапливаются на поверхности некоторых котловин выдувания.

Пробы современного супесчаного аллювия в минералогическом отношении проявляют некоторое сходство с современными дюнными супесями, но имеют утяжеленный минералогический состав и более контрастные локальные вариации. В современных аллювиальных песках доминирует кварц (60–86 %), возрастает количество полевых шпатов (5–20 %), а в некоторых образцах в большом количестве появляются обломки коренных песчаников (до 40 %). Содержание тяжелой фракции (удельный вес более 2.9 г/см³) в некоторых фациях аллювия увеличивается до 1–2 %. Характерным признаком аллювиальных супесей является постоянное присутствие биотита, количество которого в группе прочих минералов иногда достигает 5–10 %. В целом минералогический состав современных аллювиальных песков и супесей имеет значительные локальные вариации, что связано с более выраженной сезонной динамикой интенсивности русловых процессов в сравнении с эоловыми.

Фациальное строение Кысыл-Сырского опорного обнажения

Кысыл-Сырский опорный разрез изучался с 2012 по 2016 г. (см. рис. 2). Он представлен обрывом на правом берегу р. Вилюй высотой до 35 м и протяженностью около 2 км. В основании обрыва во время летней межени вскрывается 5–6 групп подземных источников с видимым дебитом 3–4 л/с каждый, некоторые из них фонтанируют в виде грифонов высотой до 30–40 см. Максимальная плотность источников сконцентрирована в

интервале 300–400 м в северо-западной части обнажения. Во время сильной летней межени в августе 2016 г. на абсолютной высоте 75–76 м здесь обнажился участок, сложенный гравийно-галечными отложениями с небольшими валунами, значительным количеством обломков древесины и единичными находками костей крупных млекопитающих.

В пределах берегового обрыва авторами было выполнено несколько расчисток, среди которых наиболее информативны № 366 и 449. Результаты гранулометрического, минералогического анализов и абсолютные датировки приведены в таблице и отображены на рис. 3, 4, полный список абсолютных датировок представлен в [Галанин и др., 2015, 2016]. Ниже рассмотрена общая характеристика разреза, в которой интервалы мощностей приведены в абсолютных высотах над уровнем моря.

Аллювиальные отложения. В основании разреза на всем его протяжении в интервале 75–88 м залегает нормальный аллювиальный цикл, подстилающийся базальным галечником, обнажающимся только в период максимальной межени. Выше залегает пачка переслаивающихся пакетов косослоистых (фация подводных речных дюн и перекаатов) среднезернистых песков и горизонтально-слоистых песков (косовая фация) с прослоями пылеватых супесей (песовая и пойменная фации), с тонкими линзами мелкого гравия (фация размыва и перемыва). Мощность переслаивающихся пакетов варьирует от 3–4 до 40–50 см, цвет отложений – от палевого до темно-серого. Косослоистые пески образованы элементарными слойками толщиной от 0.5 до 2–4 см, падающими под углом 35–45° в направлении течения современного Вилюя. Характерный признак косослоистых пакетов – заметная сортировка материала внутри каждого элементарного слойка, образованная в результате дифференциации тяжелой и легкой фракций. При полевом обследовании аллювиальная пачка находилась в талом состоянии и на уровне русла р. Вилюй была интенсивно обводнена.

Гранулометрический состав фации косослоистых песков имеет следующие характеристики (см. таблицу): средний размер зерен $x = 340 \pm 33$ мкм, коэффициент сортировки $\sigma = 1.7 \pm 0.2$, асимметрия $\alpha = -0.08 \pm 0.20$, эксцесс $\tau = 1.5 \pm 0.26$. Фация плесовых горизонтальных супесей с тонкими прослоями суглинков имеет следующий гранулометрический состав: $x = 204 \pm 60$ мкм, $\sigma = 1.92 \pm 0.2$, $\alpha = -0.20 \pm 0.16$, $\tau = 1.1 \pm 0.27$.

Венчает аллювиальный цикл слой горизонтально залегающих тонкослоистых темно-серых до сизого пылеватых супесей (пойменно-старичная фация), на отдельных участках плавно переходящих по латерали в легкие, а иногда в тяжелые

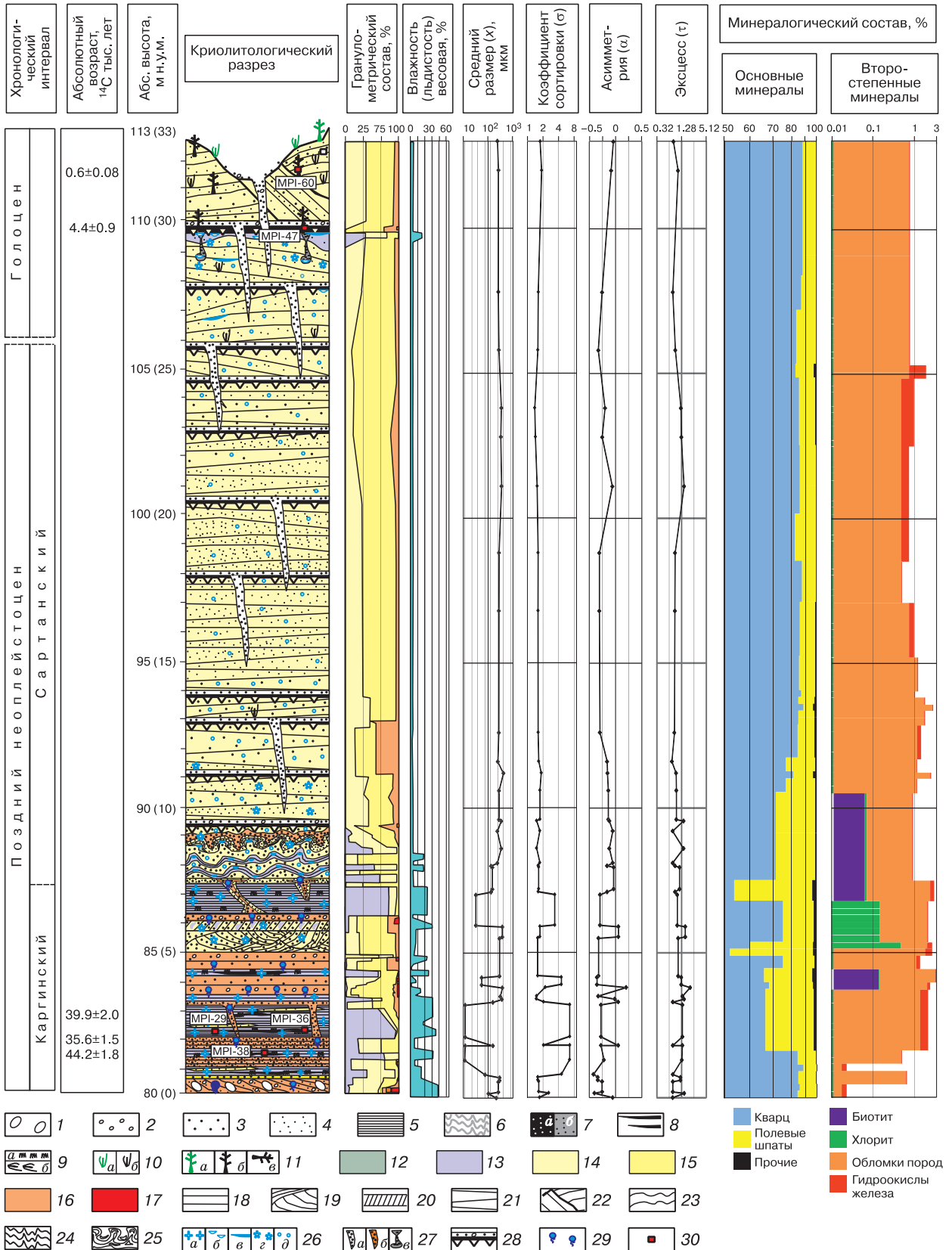


Рис. 3. Кысыл-Сырский опорный разрез позднечетвертичных эоловых образований в бассейне р. Вилюй; расчётка 366 (63.9162° с.ш., 123.2331° в.д.).

Литология: 1 – мелкая галька; 2 – мелкий гравий; 3 – средний песок; 4 – мелкий песок (супесь); 5 – ил (суглинок); 6 – супесь с тонкими (1 мм) ритмичными прослоями суглинка; 7 – гумус с примесью песка (а) и песок с примесью гумуса (б); 8 – тонкие прослои и линзы аллохтонного растительного детрита; 9 – кустарничковый (а) и травянистый (б) торф; 10 – живые (а) и отмершие (б) вертикально погребенные стебли и куртины злаков; 11 – живые (а) и ископаемые деревья: вертикально захороненные (б), горизонтально захороненные (в). **Граулометрия:** 12 – тяжелый суглинок и глина (<0.01 мм); 13 – супесь с суглинком интенсивно-оглеенные (<0.1 мм); 14 – мелкий песок (0.1–0.25 мм); 15 – средний песок (0.25–0.5 мм); 16 – крупный песок (0.5–1.0 мм); 17 – гравий, мелкая галька. **Текстуры флювиальные сингенетические:** 18 – горизонтальная; 19 – линзовидная; 20 – косослоистая. **Текстуры эоловые:** 21 – пологая перекрестно-слоистая (параболических дюн) с вариацией толщины элементарных слоев от 1 мм до 30 см; 22 – крутонаклонная перекрестно-слоистая (накидных дюн и барханов). **Постлитогенные инволюции и криотурбация:** 23 – волнистая; 24 – пloyчатая; 25 – диашировая. **Криотекстуры цементирующего льда (26):** а – массивная, б – мелкоячеистая, в – тонкошпировая и мелколинзовидная, г – гнездовидная, д – контактная. **Жильные образования (27):** а – сухомерзлые (морозные) клиновидные син- и эпигенетические песчаные жилы в дюнных отложениях, б – интенсивно-ожежененные клиновидные песчаные жилы с массивной криотекстурой, в – грунтовые суглинисто-гумусовые жилы с массивной криотекстурой в современных дюнных отложениях. **Прочие элементы:** 28 – структурные и седиментационные несогласия, поверхности интенсивной дефляции с линзами крупного песка и мелкого гравия; 29 – участки выхода самоизливающихся межмерзлотных таликов; 30 – точки определения абсолютного возраста радиоуглеродным методом с лабораторными кодами датировок.

суглинки с примесью микроконкреций вивианита (старичная фация), рассеянной органики и тонкого растительного детрита. Кровля пойменной пачки находится на высоте современной высокой поймы р. Вилюй (7–10 м) и прослежена на всем протяжении (2 км) берегового обрыва. Кровля полого погружается (1–2 м на 1 км) навстречу течению реки. Она окрашена в охристые тона и разбита повторяющимися короткими вертикальными жилами шириной 10–30 см, заполненными охристым песком из вышележащих отложений. Фация пылеватых пойменных супесей имеет массивную криотекстуру и является водоупором, весовая влажность (льдиность) здесь достигает 20–25 %.

Обобщенный граулометрический состав пойменной фации следующий: средний размер зерен $x = 160 \pm 37$ мкм, коэффициент сортировки $\sigma = 1.66 \pm 0.04$, асимметрия $\alpha = -0.1 \pm 0.06$, эксцесс $\tau = 0.92 \pm 0.11$. Обобщенный состав старичной фации характеризуется следующими значениями: $x = 37 \pm 22$ мкм, $\sigma = 5.11 \pm 1.15$, $\alpha = -0.37 \pm 0.06$, $\tau = 1.14 \pm 0.19$.

Таким образом, установленные в нижней части Кысыл-Сырского разреза аллювиальные отложения характеризуются пестрым набором фаций – от русловых до пойменных и старичных, что хорошо отражается в широком диапазоне средних размеров зерен, контрастных вариациях всех граулометрических характеристик (см. рис. 3).

Минералогический состав аллювиальных фаций испытывает сильную вариацию даже в пределах одной фации (см. рис. 3). Здесь доминируют кварц (60–85 %), полевые шпаты (5–20 %), в некоторых образцах в большом количестве появляются обломки коренных кварц-полевошпатовых с гидрослюдистым цементом песчаников (1–40 %), ближайшие выходы которых вскрываются в 15 км выше по левобережью Вилюя. Зерна полевого шпата часто замутненные, трещиноватые, покрыты гидроокислами железа. Содержание тяжелой

фракции в некоторых фациях аллювия достигает 1–2 %. В ее составе идентифицированы магнетит, гидроокислы железа, гранат, эпидот, роговая обманка, пироксен, ильменит и лейкоксен. Характерная черта минералогического состава аллюви-

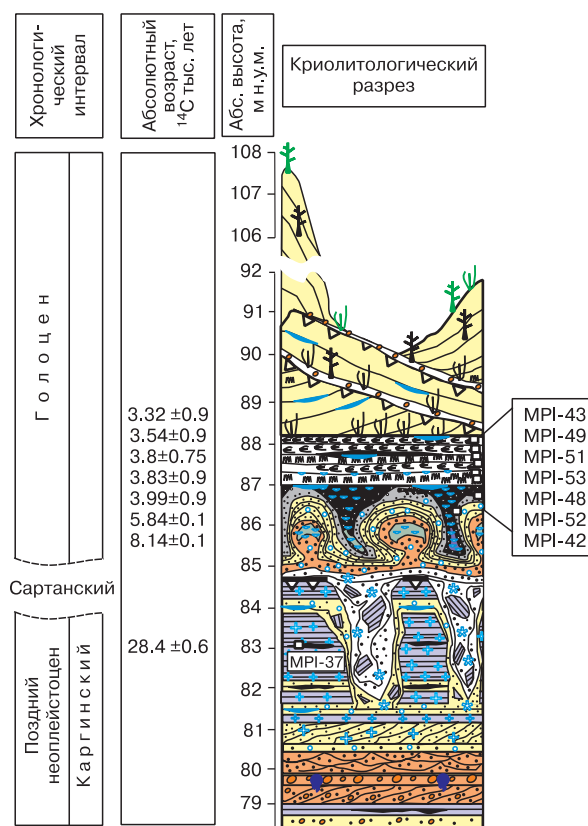


Рис. 4. Кысыл-Сырский опорный разрез позднечетвертичных эоловых образований в бассейне р. Вилюй; расчистка 449 (63.9033° с.ш., 123.2134° в.д.).

Условные обозн. см. на рис. 3.

альных фаций – высокое содержание (до 50 %) биотита, мусковита и хлорита в группе прочих минералов.

Гранулометрический состав и минералогия аллювиальных фаций отличаются частой циклической вариацией (см. рис. 3), что свидетельствует о сезонных колебаниях уровня водоема и скорости течения. Признаками аллювиального генезиса являются чередование слоев с косой и горизонтальной слоистостью, падение косых слойков вниз по долине р. Вилюй, следы размыва, тонкие прослойки мелкого гравия и аллохтонного растительного детрита (плавника). На основании серии радиоуглеродных датировок (см. рис. 3, 4) возраст аллювиальных отложений нижней части Кысыл-Сырского разреза отнесен ко второй половине каргинского термохрона (МИС-3) [Галанин и др., 2015, 2016].

Дюнные отложения представлены перекрестно-слоистыми песками и охватывают интервал 88–110 (116) м, слагая верхние две трети Кысыл-Сырского разреза (см. рис. 3). Они разделяются на нижнюю и верхнюю пачки, резко отчлененные друг от друга кровлей палеорельефа и горизонтом погребенной почвы, хорошо выдержанными по всему обнажению на протяжении около 2 км.

Нижняя пачка (88–105 м) представлена пакетами пологослоистых (3–5°) супесей (фацция пологих параболических и копьевидных дюн) максимальной мощностью 10–12 м (расчистка 366), разделенных дефляционными поверхностями. В гипсометрическом плане за пределами современного (Кысыл-Сырского) дюнного массива кровля пачки совпадает с поверхностью надпойменной террасы р. Вилюй высотой 30–35 м, закрепленной сосново-толокнянковым лесом. В пределах Кысыл-Сырского тукулана кровля пачки волнистая и образована поверхностью интенсивной дефляции с выдержанным горизонтом палеопочвы. В пределах расчистки 366 она приурочена к отметкам 100–105 м, на расчистке 449 полого погружена до отметок 89–90 м в виде депрессии (см. рис. 4). Дюнные отложения нижней пачки здесь практически выклиниваются, а маркирующий горизонт палеопочвы утолщается и постепенно переходит в торфяник мощностью 2 м, залегающий непосредственно на подстилающем аллювии. Отложения нижней пачки характеризуются монотонным выдержанным строением, полным отсутствием растительных остатков, погребенных почвенных горизонтов, за исключением единичных корешков травянистых растений.

На основании ОСЛ-датировок и стратиграфического положения (см. рис. 3) возраст нижней пачки дюнных отложений отнесен к сартанскому криохрону (МИС-2) [Галанин и др., 2015, 2016; Павлова и др., 2017].

Верхняя пачка распространена только в пределах современного поля активно перевеиваемых дюн Кысыл-Сырского тукулана, залегает в интервале 88(90)–116 м и имеет мощность от 2–3 до 20 м. В пределах тукулана она перекрывает поверхность палеореольефа нижней пачки и маркирующий эту поверхность горизонт палеопочвы. Кровля верхней пачки образована экспонируемым рельефом современных незакрепленных дюн. Отложения верхней пачки имеют более резкую перекрестную слоистость (фацции накидных, эмбриональных и коротких параболических дюн) с падением в южных румбах под углами от 5 до 30–40° в юго-восточном направлении. В этом же направлении ориентированы современные дюны и весь Кысыл-Сырский песчаный массив. Характерная особенность верхней пачки – большое количество вертикально погребенных стволов деревьев (сосны, режа лиственницы), невыдержанных прослоев слабообразованных почв с многочисленными углями. На основании серии радиоуглеродных датировок (см. рис. 3, 4) время формирования пачки отнесено ко второй половине голоцена [Галанин и др., 2015, 2016; Павлова и др., 2017].

Гранулометрический состав нижней и верхней пачек весьма сходен и стабилен по разрезу (см. рис. 3, 4). Он характеризуется следующим осредненными (12 образцов) значениями: средний размер зерен $x = 300 \pm 40$ мкм, коэффициент сортировки $\sigma = 1.6 \pm 0.1$, асимметрия $\alpha = -0.22 \pm 0.08$, эксцесс $\tau = 1.03 \pm 0.2$. Отрицательная асимметрия и средний эксцесс указывают на нормальное распределение и наличие “хвостов” мелких фракций, что типично для современных дюнных отложений Кысыл-Сырского тукулана.

Минералогический состав обеих пачек дюнных супесей также сходен. Преобладают минералы легкой фракции, среди которых доминирует кварц (85–97 %). В небольшом количестве (до 10 %) присутствуют полевые шпаты, обломки песчаников. Зерна кварца, как правило, чистые, прозрачные, имеют округлую форму, местами их поверхность покрыта бурыми потеками и гидроокислами. Тяжелая фракция представлена единичными зернами гранатов, рутила, ильменита. Среди новообразований присутствуют органические включения, гидроокислы железа и марганца, хлорит, глинистые минералы. Изредка встречаются отполированные зерна яшмы, халцедона, опала, оникса, панцири диатомовых водорослей, фульгуриты [Галанин и др., 2017].

Минералогической особенностью дюнных отложений в сравнении с подстилающим аллювием является резкое уменьшение количества биотита и мусковита. Вероятно, чешуйчатые зерна слюд, накапливающиеся в значительных количествах в аллювии, весьма быстро выдуваются при его вет-

ровой переработке и трансформации в дюнные массивы. Низкое содержание слюды, по-видимому, является наиболее информативным минералогическим признаком четвертичных дюнных отложений региона и может использоваться в качестве генетического критерия при их диагностике в разрезах.

Седиментационные текстуры дюнных фаций характеризуются наличием нескольких порядков слоистости [Галанин и др., 2016]. *Первый тип* микрослоистости (облегающая субпараллельная и волнистая) образован чередованием летних слоев отбеленного кварцевого песка толщиной 2–3 см и зимних более тонких (1–2 мм) слоев охристой супеси с небольшим количеством темной пыли. Данная микрослоистость отражает внутригодовую (сезонную) ритмичность эолового осадконакопления, придавая осадкам специфический полосчатый вид. *Второй тип* микрослоистости дюнных песков связан со множеством погребенных микродефляционных поверхностей, сложенных крупным отбеленным кварцевым песком, реже мелким (2–3 мм) гравием. Этот тип слоистости несогласно срезает сезонную микрослоистость, ориентирован субгоризонтально или слабонаклонно под углами 3–5°. Его происхождение связано с непрерывным (циклическим) переувлажнением и движением элементарных дюн по направлению господствующих ветров. *Третий тип* – так называемая перекрестная слоистость – сходен с предыдущим типом, но характеризуется большими углами наклона (15–20° и более). Перекрестная слоистость достигает значительных размеров и формируется в головных частях параболических и копьевидных дюн повышенной мощности, а также в накидных гребневидных дюнах, трассирующих бровки речных обрывов.

Микротектонические деформации широко распространены в дюнных отложениях и сформированы в ходе их естественного гравитационного уплотнения и растрескивания в обезвоженных (аридных) условиях. Чаще всего встречаются микротрещины с вертикальными и горизонтальными смещениями амплитудой от сантиметров до 1 м, а также узкие вертикальные трещины шириной до 10–15 см и длиной до 3–4 м, заполненные материалом вышележащих горизонтов [Галанин и др., 2016].

Льдистость и криогенная текстура. Характерными признаками эолового происхождения являются низкая влажность (<5%) и высокая пористость, отсутствие полигонально-жильных льдов [Камалетдинов, Минюк, 1991; Шепелев, 2011], свидетельствующие об обезвоженности поверхности ландшафта во время осадконакопления.

Специфической чертой, указывающей на синкриогенное промерзание дюнных отложений в условиях крайне низкого увлажнения, является пре-

обладание сублимационных криотекстур, представляющих собой изморось, формирующуюся в результате конденсации водяного пара на поверхности зерен и в порах в пределах слоя годовых теплооборотов. Среди сублимационных криотекстур наиболее распространены контактная и тонкошлировая, реже комковатая [Галанин и др., 2016]. Тонкошлировая криотекстура представлена тонкими горизонтальными прослойками и пленками льда толщиной не более 0.5 мм, разделенными прослоями (1–5 см) сухомерзлого (морозного) песка. При проходке шурфов и неглубоком бурении в июне 2012 и 2014 гг. в пределах Кысыл-Сырского тукулана многочисленные шлиры такого сублимационного льда были вскрыты авторами на подошве слоя на глубине ниже 2.5–3.0 м от поверхности.

ВЫВОДЫ

Основываясь на результатах исследования опорного Кысыл-Сырского разреза и других эоловых образований Центральной Якутии [Галанин и др., 2016; Павлова и др., 2017], авторы пришли к выводу об эоловом (дюнном) происхождении покровных перекрестно-слоистых супесей, слагающих чехол мощностью до 20–25 м на некоторых террасах Вилюя и его притоков. По геоморфологическим условиям залегания, фациальному составу и возрасту эти образования полностью идентичны отложениям дьолкуминской свиты позднего неоплейстоцена, охарактеризованной предшественниками в опорных разрезах Песчаная Гора, Диринг-Юрях и Усть-Ботуомское в среднем течении р. Лены [Колтаков, 1983; Алексеев и др., 1984; Камалетдинов, Зигерт, 1989; Камалетдинов, Минюк, 1991; Спектор и др., 2017; Waters et al., 1999]. Об эоловом (дюнном) происхождении дьолкуминской свиты свидетельствует следующий набор основных признаков.

Литологические признаки: 1) супесчаный состав (средний размер зерен $x = 300 \pm 40$ мкм), хорошая сортировка ($\sigma = 1.6 \pm 0.1$), отрицательная асимметрия ($\alpha = -0.22 \pm 0.08$), указывающая на незначительное содержание пылеватых фракций, узкий гранулометрический диапазон ($\tau = 1.03 \pm 0.2$); 2) облегченный минералогический состав, низкое содержание тяжелой фракции, слюды, присутствие внутрпочвенных новообразований (ортштейнов, педотубул, фульгуритов), ветрогранников; фрагментов почвенных горизонтов, корешковой органики, угольков и др.; 3) светлая окраска от белого до желтовато-палевого и охристого тонов, свидетельствующая о хорошей аэрации и окислительных условиях накопления; 4) высокая пористость, отсутствие прослоев намывной органики, плавника.

Структурно-текстурные признаки: 5) более плавная и выдержанная (иногда на десятки мет-

ров) слоистость по горизонтали, в отличие от аллювия; 6) наличие нескольких порядков слоистости, обусловленных сезонной микрослоистостью (зимние и летние слойки), микродефляционными несогласиями (чередование периодов дефляции с аккумуляцией) и перекрестно-слоистыми структурами, иногда с крутыми (до 40°) падениями в юго-восточных румбах, противоположных течению современных водотоков; 7) отсутствие флювиальной цикличности (переслаивания косослоистых и горизонтально-слоистых пакетов), илистой пойменной фации, аллохтонной органики и плавника; 8) наличие сингенетических вертикальных песчаных клиньев, микротектонических деформаций.

Геоморфологические признаки: 9) облегающее (плащеобразное) залегание и одновременное формирование на разных гипсометрических уровнях; 10) присутствие в некоторых разрезах волнистых поверхностей погребенного рельефа, а также наблюдаемого современного дюнного рельефа.

Мерзлотно-геологические признаки: 11) низкая льдистость (<5 %) и отсутствие полигонально-жильных льдов [Колпаков, 1983; Камалетдинов, Минюк, 1991; Шепелев, 2011; Галанин и др., 2016], свидетельствующие о крайней обезвоженности поверхности ландшафта во время осадконакопления; 12) преобладание сублимационных криотекстур, среди которых наиболее распространены контактная и тонкошпиревая, реже комковатая [Галанин и др., 2016]; 13) аномальный тепловой режим (температуры грунтов от -1 до 0 °С), глубокое протаивание (3–4 м) и одновременно высокое положение подошвы слоя годовых теплооборотов (3–4 м); 14) широкое распространение высокообводненных межмерзлотных таликов и подземных источников [Шепелев, 2011], широкое распространение замкнутых озерных котловин, слабое развитие поверхностной гидросети.

Таким образом, авторы полагают, что количество перечисленных признаков свидетельствует о дюнном (эоловом) происхождении позднечетвертичных покровных супесей Центральной Якутии, которое убедительно аргументировали некоторые предшественники [Колпаков, 1983; и др.].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН П.1 и РФФИ (проекты № 17-05-00954, 18-45-140012).

Литература

- Алексеев М.Н.** Стратиграфия континентальных неогеновых и четвертичных отложений Вилюйской впадины и долине нижнего течения реки Лены. М., Изд-во АН СССР, 1961, 120 с.
 Alekseev, M.N., 1961. Stratigraphy of continental Neogene and Quaternary sediments of the Vilyuy depression and Lower Lena valley. Izd-vo AN SSSR, Moscow, 120 pp. (in Russian)
- Алексеев М.Н., Камалетдинов В.А., Гриненко О.В.** Кайнозойские отложения Лены и Алдана // 27-й Междунар. геологический конгресс. Якутская АССР, Сибирская платформа. Сводный путеводитель экскурсий 052, 053, 054, 055. Новосибирск, Наука, 1984, с. 21–42.
 Alekseev, M.N., Kamaletdinov, V.A., Grinenko, O.V., 1984. Cenozoic sediments of the Lena and Aldan rivers. In: Proceedings of the 27th Geological Congress. Yakut ASSR, Siberian Platform. Guidebook for excursions 052, 053, 054, 055. Nauka, Novosibirsk., pp. 21–42. (in Russian)
- Астахов В.И., Свенсен Й.И.** Покровная формация финального плейстоцена на крайнем северо-востоке Европейской России // Регион. геология и металлогения, 2011, № 47, с. 12–27.
 Astakhov, V.I., Svendsen, J.I., 2011. The Cover Formation of the Final Pleistocene in the Far Northeast of European Russia. Regionalnaya geologia i metallogenia, No. 47, 12–27.
- Большаинов Д.Ю., Тидэ Й., Савельева Л.А. и др.** К изучению этапов развития долины р. Лены // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. “Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России” (Якутск, 6–8 апр. 2016 г.). Якутск, Издат. дом СВФУ, 2016, с. 469–472.
 Bolshyanov, D.Yu., Thiede, J., Savelieva, L.A., et al., 2016. To the study of the evolution stages of the Lena river valley. In: Proceedings of the All-Russian scientific conference “Geology and mineral resources of the North-East of Russia” (Yakutsk, April 6–8, 2016). SVFU Publishing House, Yakutsk, pp. 469–472. (in Russian)
- Величко А.А., Тимирева С.Н.** Западная Сибирь – великая позднеледниковая пустыня // Природа, 2005, № 5, с. 54–62.
 Velichko, A.A., Timireva, S.N., 2005. Western Siberia, the great late-glacial desert. Priroda, No. 5, 54–62.
- Выркин В.Б.** Эоловое рельефообразование в Прибайкалье и Забайкалье // География и природ. ресурсы, 2010, № 3, с. 25–32.
 Vyркин, V.B., 2010. Aeolian formations in the Prebaikalia and Transbaikalia. Geografia i Prirodnuyе Resursy, No. 3, 25–32.
- Галанин А.А., Дьячковский А.П., Лыткин В.М. и др.** Результаты определения абсолютного возраста образцов в радиоуглеродной лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН // Наука и образование, 2015, № 4 (80), с. 45–49.
 Galanin, A.A., Diachkovskii, A.P., Lytkin, V.M., et al., 2015. Results of absolute age dating of samples at the Radiocarbon Laboratory of Permafrost Institute SB RAS. Nauka i Obrazovanie, No. 4 (80), 45–49.
- Галанин А.А., Павлова М.Р., Шапошников Г.И., Лыткин В.М.** Тукуланы: песчаные пустыни Якутии // Природа, 2016, № 11, с. 44–55.
 Galanin, A.A., Pavlova, M.R., Shaposhnikov, G.I., Lytkin, V.M., 2016. Tukulans: sand deserts of Yakutia. Priroda, No. 11, 44–55.
- Галанин А.А., Шишков В.А., Климова И.В.** Фульгуриты: “автографы молний” в песчаных дюнах Якутии // Природа, 2017, № 5 (1221), с. 52–60.
 Galanin, A.A., Shishkov, V.A., Klimova, I.V., 2017. Fulgurites: the lightning marks in sandy dunes of Yakutia. Priroda, No. 5 (1221), 52–60.
- Геокриология СССР.** Средняя Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Наука, 1989, 414 с.
 Ershov, E.D. (Ed.), 1989. Geocryology of the USSR. Central Siberia. Nauka, Moscow, 414 pp. (in Russian)
- Зигерт К., Штаух Г., Лемкуль Ф. и др.** Развитие оледенения Верхоянского хребта и его предгорий в плейстоцене: результаты новых исследований // Регион. геология и металлогения, 2007, № 30–31, с. 222–228.
 Siegert, K., Stauch, G., Lehmkuhl, F., Sergeenko, A.I., Diekmann, B., Popp, S., Beloliubskii, I.N., 2007. Evolution of glacia-

- tions of the Verkhoyansk Range and its foothills in the Pleistocene: the results of new research. *Regionalnaia Geologiya i Metallogeniya*, No. 30–31, 222–228.
- Иванов А.Д.** Эоловые пески Западного Забайкалья и Прибайкалья. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966, 232 с.
Ivanov, A.D., 1966. Aeolian Sands of Western Transbaikalia and Prebaikalia. Buryat. kn. izd-vo. Ulan-Ude, 232 pp. (in Russian)
- Камалетдинов В.А., Зигерт Х.Г.** Краткая литологическая характеристика кайнозойских отложений археологического памятника Диринг-Юрах (Средняя Лена) // Плейстоцен Сибири. Стратиграфия и межрегиональная корреляция. Новосибирск, Наука, 1989, с. 126–131.
Kamaletdinov, V.A., Siegert, K., 1989. Brief lithological characteristics of Cenozoic deposits of archeological site Diring-Yurakh (Middle Lena). In: *The Pleistocene of Siberia*. Nauka, Novosibirsk, pp. 126–131. (in Russian)
- Камалетдинов В.А., Минюк П.С.** Строение и характеристика отложений бестяхской террасы Средней Лены // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода, 1991, № 60, с. 68–78.
Kamaletdinov, V.A., Minyuk, P.S., 1991. The structure and characteristics of sediments of the Bestyakh terrace on the middle Lena river. *Bulletin of the Commission of Quaternary Research (Billyuten po izuchen. chetvert. perioda)*, No. 60, 68–78.
- Ковалюх Н., Скрипкин В.** Радиоуглеродное датирование археологической керамики жидкостным сцинтилляционным методом // Радиоуглерод в археологических и палео-экологических исследованиях. СПб., ИИМК РАН, 2007, с. 120–126.
Kovalyukh, N., Skripkin, V., 2007. Radiocarbon dating of archaeological ceramics by liquid scintillation method. In: *Radiocarbon archaeological and paleoecological studies*. ИИМК РАН, St. Petersburg, pp. 120–126. (in Russian)
- Колпаков В.В.** Эоловые четвертичные отложения Приленской Якутии // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода, 1983, № 52, с. 123–131.
Kolpakov, V.V., 1983. Aeolian Quaternary deposits in the Lena area of Yakutia. *Bulletin of the Commission of Quaternary Research (Billyuten po izuchen. chetvert. perioda)*, No. 52, 123–131.
- Куть А.А.** Эолово-мерзлотные образования (тукуланы) Центральной Якутии: строение, генезис, возраст, закономерности распространения: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Якутск, 2015, 22 с.
Kut, A.A., 2015. Aeolian-permafrost dune massifs (tukulans) in Central Yakutia: their structure, genesis, age and distribution patterns. Extended abstract of Cand. Sci. (geol.-mineral.) Dissertation. Yakutsk, 22 pp. (in Russian)
- Павлов П.Д.** Географическое распространение эоловых песков в Центральной Якутии // Эоловые образования Центральной Якутии. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1981, с. 18–30.
Pavlov, P.D., 1981. Geographical extent of aeolian sands in Central Yakutia. In: *Aeolian Formations of Central Yakutia*. IMZ SO AN SSSR, Yakutsk, pp. 18–30. (in Russian)
- Павлова М.Р., Рудая Н.А., Галанин А.А., Шапошников Г.И.** Строение и динамика развития дюнных массивов Виллойского бассейна в позднечетвертичное время (на примере тукуланов Махатта и Кысыл-сыр) // Сиб. экол. журн., 2017, т. 24, № 4, с. 473–486.
Pavlova, M.R., Rudaya, N.A., Galanin, A.A., Shaposhnikov, G.I., 2017. Structure and evolution of dune massifs in the Vilyuy River basin over the Late Quaternary period (by the example of Makhatta and Kyzyl-Syr tukulans). *Contemporary Problems of Ecology*, 10 (4), 411–422.
- Поморцев О.А., Большиханов Д.Ю., Попов В.Б., Правкин С.А.** К проблеме морских трансгрессий и обстановок осадконакопления в Центральной и Северной Якутии в неоплейстоцене // Вестн. СВФУ. Сер. Науки о Земле, 2017, № 4 (08), с. 5–13.
Pomortsev, O.A., Bolshiyhanov, D.Yu., Popov, V.B., Pravkin, S.A., 2017. To the problem of Late Pleistocene marine transgressions and depositional environments in Central and Northern Yakutia. *Vestnik SVFU, seriya "Nauki o Zemle"*, No. 4 (08), 5–13.
- Соловьев П.А.** Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М., Изд-во АН СССР, 1959, 144 с.
Soloviev, P.A., 1959. Cryolithozone of the northern part of the interfluvium between the Lena-Amga interfluvium. *Izd-vo Akad. Nauk SSSR, Moscow*, 144 pp. (in Russian)
- Спектор В.В., Спектор В.Б., Боескоров Г.Г. и др.** Перигляциальный аллювий Центрально-Якутской равнины по данным изучения опорного обнажения Песчаная гора // Вестн. ЗабГУ, 2017, т. 23, № 5, с. 45–59.
Spektor, V.V., Spektor, V.B., Boeskorov, G.G., et al., 2017. Periglacial alluvium of the Central-Yakutian plain according to the study of the bearing outcrop of Peschanaya Mt. *Vestnik ZabGU*, vol. 23 (5), 45–59.
- Уфимцев Г.Ф., Джанотта А., Перевалов А.В. и др.** Эоловые ландшафты Тункинской котловины // География и природ. ресурсы, 1997, № 1, с. 65–70.
Ufimtsev, G.F., Janotta, A., Perevalov, A.V., et al., 1997. Aeolian landscapes of the Tunka valley. *Geografia i Prirodnue Resursy*, No. 1, 65–70.
- Шванов В.Н.** Песчаные породы и методы их изучения. Л., Недра, 1969, 247 с.
Shvanov, V.N., 1969. Sand rocks and study methods. Nedra, Leningrad, 247 pp. (in Russian)
- Шепелев В.В.** Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2011, 169 с.
Shepelev, V.V., 2011. Suprapermafrost Waters in the Cryolithozone. Academic Publishing House "Geo", Novosibirsk, 169 pp. (in Russian)
- Black, R.F.** Eolian deposits of Alaska // *Arctic*, 1951, vol. 4, No. 2, p. 89–111.
- Blott, S.J., Pye, K.** Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments // *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, vol. 26, p. 1237–1248.
- Bronk, R.C.** Bayesian analysis of radiocarbon dates // *Radiocarbon*, 2009, No. 51 (1), p. 337–360.
- Folk, R.L.** Petrology of sedimentary rocks. Texas, Hemphill Publ. Company Austin, 1980, 350 p.
- Waters, M.R., Forman, S.L., Pierson, J.M.** Late Quaternary geology and geochronology of Diring an early Paleolithic site in Central Siberia // *Quatern. Res.*, 1999, No. 51, p. 195–211.
- Wolfe, S., Bond, J., Lamothe, M.** Dune stabilization in central and southern Yukon in relation to early Holocene environmental change, northwestern North America // *Quatern. Sci. Rev.*, 2011, No. 30 (3–4), p. 324–334.

Поступила в редакцию
19 октября 2017 г.