

УДК: 630.114:551.584.33(282.256.8)

КОНТИНЕНТАЛЬНОСТЬ КЛИМАТА И ТЕПЛООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПОЧВ СТЕПНЫХ СКЛОНОВ В ВЕРХОВЬЯХ ИНДИГИРКИ И КОЛЫМЫ

Алфимов А. В.

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, г. Магадан

E-mail: arcalfimov@gmail.com

Степные биотопы на южных склонах в верховьях Индигирки и Колымы, судя по населению беспозвоночных и растительности, являются аналогами горных степей Юга Сибири. При этом от бассейна Индигирки к Колыме сокращаются площади степных склонов и число степных видов растений и животных. В том же направлении уменьшается континентальность климата, что позволило считать ее основным фактором, влияющим на распространение термофитных степей на Северо-Востоке Азии. Измерения температур в почвах термофитных степей в названных бассейнах рек не выявили различий теплообеспеченности, связанных с континентальностью. Сравнение результатов этих измерений с данными многолетних наблюдений на ксероморфных биотопах южных склонов в верховьях Колымы позволили расширить такое заключение на почвы всех открытых сухих южных склонов в верховьях Колымы и Индигирки. Тем самым поставлена под сомнение роль континентальности климата и летнего температурного режима почв в длительной сохранности «островов» с большим числом видов степных растений и животных, находящихся в окружении мерзлотных горно-таежных экосистем в верховьях Индигирки. Показано, что ограничения в распространения ряда степных видов беспозвоночных также не определяются различиями летнего режима температур почв в верховьях Индигирки и Колымы.

Ключевые слова: термофитные степи, верховья Индигирки и Колымы, континентальность климата, теплообеспеченность почв.

DOI: 10.34078/1814-0998-2023-4-72-83

ВВЕДЕНИЕ

На крутых южных склонах в долинах наиболее крупных рек в континентальной части Северо-Востока Азии встречаются реликтовые (термофитные) степи. Они вкраплены небольшими фрагментами в мерзлотные ландшафты северной горной тайги и сохранили характерный для степей облик флоры и растительности, фауны и животного населения. По составу этих компонентов степи Северо-Востока Азии тяготеют к горным степям Юга Сибири (Берман, Алфимов, 1993; Berman et al., 2011). **Остатки хитина степных видов жуков** – современных обитателей термофитных степей – обнаружены в едомных отложениях плейстоцена, что позволяет рассматривать степи как ближайший из ныне существующих аналогов тундростепей Северо-Востока Азии, существовавших в условиях резко континентального климата (Berman et al., 2011).

Наиболее широко термофитные степи распространены в долинах и котловинах верхнего течения Индигирки в интервале высот от 300 до 700 м

н. у. м. К югу и востоку уменьшается площадь «степных островов» и сокращается число степных видов растений и животных, причем самые резкие изменения происходят между бассейнами Индигирки и Колымы (Берман, 1974; Юрцев, 1974, 1981; Berman et al., 2011). Близким образом распределены на Северо-Востоке Азии показатели континентальности климата, вычисленные по параметрам годового хода температур воздуха и увлажнения (Иванов, 1959). Это обстоятельство позволяет предположить, что континентальность как комплексный климатический показатель можно считать главным фактором, отвечающим за сохранность степных видов в окружении мерзлотных ландшафтов (Юрцев, 1981; Берман, Алфимов, 1993; Берман и др., 2001).

Такое предположение не противоречит представлениям о проявлениях континентальности климата в теплый сезон. К ним относятся: небольшая облачность, обеспечивающая максимальные для данной широты суммы солнечной радиации, ранний сход неглубокого снежного покрова, что ведет к росту альбедо и более раннему прогреву почвы. Названные факторы, а также

малое количество осадков повышают теплообеспеченность почв, которая становится ключевым показателем, сближающим условия существования степных видов растений и беспозвоночных на термофитных степях Северо-Востока Азии и в основной части их ареала – горных степях Юга Сибири. Особенности методики измерений температур почв на метеостанциях ограничивают использование данных Роскомгидромета для оценки условий в почвах степных склонов, а специальных наблюдений, позволяющих сравнить теплообеспеченность почв термофитных степей в бассейнах Индигирки и Колымы, не проводилось.

Еще одна характерная черта континентального климата – резкие различия температур и влажности почвы термофитных степей и окружающих их зональных мерзлотных экосистем редколесий. Считается, что названный контраст препятствует лесным сообществам проникать на степные склоны, обеспечивая длительную сохранность обитающих на них видов (Берман, Алфимов, 1992, 1993). В то же время на крутых южных склонах с ксероморфной растительностью, где отсутствуют степные виды растений и животных, названный контраст не работает. Ксероморфные склоны, как правило, представляют собой этап пирогенной сукцессии и в течение нескольких десятков лет зарастают осиной, березой или лиственницей.

Сравнение средних многолетних показателей температур воздуха в теплый сезон не выявило существенных различий между верховьями Индигирки и Колымы (Алфимов, Берман, 2021). Однако данные метеостанций репрезентативны в первую очередь для фоновых биотопов, расположенных на террасах. Температурно-влажностный режим почв степных и ксероморфных склонов резко отличается от такового в мерзлотных биотопах редколесий (Берман и др., 1990; Берман, Алфимов, 1992), и влияние континентальности климата может проявиться в нем более отчетливо.

Цель работы – оценка влияния континентальности климата на распространение термофитных степей в верховьях Колымы и Индигирки. Для этого проведено сравнение условий теплообеспеченности почв термофитных степей и склоновых ксероморфных биотопов в верховьях Колымы и Индигирки и выявлен вклад современных температурных условий почв в распространение ряда степных видов беспозвоночных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Синхронные измерения температур воздуха и почв в бассейнах Индигирки и Колымы проводились в теплый сезон 2004 г. (рис. 1, табл. 1). При описании режима температур воздуха и

осадков на степных склонах в качестве опорных использовались метеостанции: в долине р. Нера – Нера, в долине р. Сусуман – Сусуман. Для площадок на берегу Колымского водохранилища опорной по температурам воздуха была принята ближайшая станция с наиболее длинным рядом наблюдений – Усть-Омчуг. Так как расстояние до нее превышает 60 км, а летом декадные и даже месячные суммы осадков распределены по территории неравномерно, то при наблюдениях в 2004, 2008 и 2009 гг. осадки на этих площадках характеризовались осредненными данными метеостанций Оротук, Бохапча, оз. Дж. Лондо-на и Ягодное.

При наблюдениях на ксероморфном склоне в верховьях Колымы в 1983–1985 гг. температура воздуха регистрировалась термографом, а в 2008–2009 гг. – логгерами «ONSET» **8 раз в сутки**. Приборы устанавливались в стандартной метеобудке в непосредственной близости от площадок наблюдений. Осадки в 1983–1985 гг. характеризовались данными метеопоста Ветреный, расположенного в долине Колымы в 20 км и закрытого в конце 1980-х гг.

Данные о температурах воздуха и осадках на опорных метеостанциях получены из Метеорологических ежемесячников (1983, 1984, 1985, 2004) и сайта «Погода и климат» (www.pogodai-klimat.ru). Средние многолетние показатели получены по Справочникам... (1966а, б, 1968а, б) и сайту ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru/data>). Стандартное отклонение (SD) показателей – по Научно-прикладному справочнику... (1989, 1990).

Температура почвы в приповерхностном (0–2 см) слое и на глубинах 5, 10 и 20 см измерялась самописцами разных типов (КСМ-4, логгерами iBDL-LS и «ONSET» разных модификаций с точностью $\pm 0.1 \dots 0.2$ °C) 8 раз в сутки. В 1983–1985 гг. и в 2004 г. температурный режим почв в пределах площадок характеризовался осредненными данными 2–3 комплектов самописцев. В 2008–2009 гг. измерения велись одним комплектом логгеров.

В 2004 г. наблюдения на всех площадках начались через 3–5 дней после перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °C, т. е. с 15 по 19.05.2004. На площадках 1 и 2 они прекратились 19–20.09 за 10–14 дней до осеннего перехода температур воздуха через 0 °C. На площадках 3 и 4 по техническим причинам наблюдения завершились 15.08.2004.

Верховья Индигирки и Колымы расположены в отрогах хр. Черского, вершины водораздела между бассейнами превышают 1000–1500 м н. у. м., а расстояние между площадками, где проводились синхронные измерения, достигало 400–450 км. В таких условиях важно оценить,

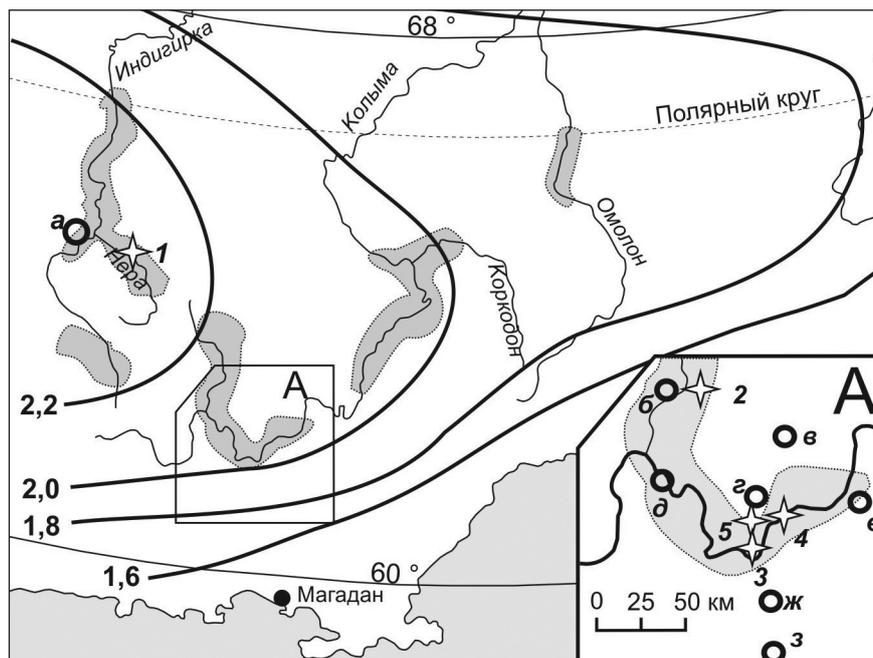


Рис. 1. Континентальность климата – жирные линии; районы распространения термофитных степей в бассейнах Индигирки и Колымы – заливные контуры¹; места измерений температур почв – звездочки 1–5 (номера площадок, как в табл. 1). Метеостанции, данные которых использованы в работе, – кружки: Нера – а, Сусуман – б, Ягодное – в, оз. Дж. Лондона – г, Оротук – д, Бохача – е, Детрин – ж, Усть-Омчуг – з.

Fig. 1. Climate continentality is marked with bold lines; areas of thermophytic steppes in the Indigirka and the Kolyma basins, with filled contours; places of soil temperature measurements, with asterisks 1–5 (site numbers as in Table 1). Weather stations whose data were used in the present research are marked with circles: Nera – а, Susuman – б, Yagodnoye – в, Jack London Lake – г, Orotuk – д, Bokhapcha – е, Detrin – ж, Ust-Omchug – з.

¹Континентальность климата по Иванову (1959); распространение термофитных степей по Берману и др. (2001) и Докучаевой, Синельниковой (2011).

в какой мере режим температур воздуха и осадков в каждом из бассейнов в 2004 г. отклонялись от климатической нормы (рис. 2).

Июнь 2004 г. был холодным и дождливым в верховьях обеих рек – отклонение от многолетней нормы осадков и температур воздуха достигали SD либо превышали его. В июле и августе знаки отклонений температур воздуха и осадков в разных бассейнах различались, но их величина была меньше SD. Таким образом, за весь теплый сезон суммы положительных температур воздуха на опорных метеостанциях хотя и были ощутимо ниже сумм, накопившихся в предшествующие и последующие годы (рис. 3б, г, е), практически совпадали с нормой для 1931–1960 гг. (табл. 2).

Обеспеченность сезонных сумм осадков на всех опорных метеостанциях варьировала от 35 до 45 %, т. е. такие же и более сильные осадки должны выпадать не реже, чем раз за три сезона (рис. 3а, в, д). Таким образом, летом 2004 г. погодные условия в верховьях и Индигирки и Колымы различались слабо и были близки к климатической норме для середины XX в., что делает проведенное сравнение теплообеспеченности почв корректным.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные показатели теплообеспеченности почв (максимальные температуры, суточные амплитуды, суммы средних суточных температур выше 0, 10, 15, 20 и 25 °С и число дней с названными температурами) на участках, обследованных в 2004 г., в слое 0–2 см различались слабо. Несколько более теплыми оказались два выдела: термофитные степи в бассейне Индигирки с самой богатой степной фауной и флорой и участок пирогенной сукцессии с ксероморфной растительностью в долине Колымы, где степные виды растений и животных отсутствуют (рис. 4). В приповерхностном слое почв этих выделов максимальные температуры, суммы температур и число дней с температурами в различных пределах были на 2–5 % выше, а суточные амплитуды не отличались от амплитуд в почвах других площадок. Самым «холодным» был степной выдел в долине р. Сусуман, имеющий наибольшую абсолютную высоту.

Различия температурного режима почв нарастали с глубиной и увеличивались для более высоких температур. Так, если суммы температур выше 0 °С за период синхронных наблюдений

Таблица 1. Площадки измерений температур почв в верховьях Индигирки и Колымы

Table 1. Soil temperature measurement sites in the Indigirka and the Kolyma headwaters

№ на рис. 1; расположение, абс. высота (м); (годы наблюдений) ¹	Расстояние до опорной метеостанции (км) ² ; коэф. континентальности (Кк) ²	Ориентация, уклон	Характер растительности; проективное покрытие (ПП); влажность почвы (ВП) ³
1. Долина р. Нера, притока Индигирки; 64.5° с. ш., 144° в. д.; 600 м н. у. м. (2004 г.)	28 – Нера; Кк = 2.34	180°; 30–35°	Злаки, осочки, полыни, лапчатка, разнотравье, бобовые, лишайники; ПП = 50–60 %; ВП = 8 %
2. Долина р. Сусуман у слияния с р. Берелёх; 62.8° с. ш., 148° в. д.; 700 м н. у. м. (2004 г.)	7 – Сусуман; Кк = 2.06	170°; 30–35°	Злаки, полыни, горноколосник, камнеломки, лапчатка, змееголовник, разнотравье, лишайники; ПП = 65–70 %, ВП = 14 %
3. Берег Колымского водохрани.; 61.6° с. ш., 149.5° в. д.; 475 м н. у. м. (2004 г.)	90 – Ягодное, 71 – Оротук, 77 – Бохапча, 63 – Усть-Омчуг, 53 – Детрин, 43 – оз. Дж. Лондона; Кк = 2.12	225°; 30–35°	Злаки, чабрец, камнеломка, лапчатка; ПП = 60–85 % из них 20 % – растительная ветошь, ВП = 6 %
4. Берег Колымского водохрани.; 61.7° с. ш., 149.7° в. д.; 470 м н. у. м. (2004, 2008–2009 гг.)	87 – Усть-Омчуг, 68 – Оротук, 66 – Ягодное, 53 – Бохапча, 27 – Детрин, 21 – оз. Дж. Лондона; Кк = 2.12	185°; 30–35°	Злаки, змееголовник, камнеломки, плаунок, ростки шиповника; ПП = 60–70 %, ВП = 5 %
5. Долина р. Олень, притока Колымы; 61.9° с. ш., 149.5° в. д.; 550 м н. у. м. (1983–1985 гг.)	20 – Ветренный; 55 – Детрин; Кк = 2.12	200°; 25–30°	Злаки, камнеломки, осочки, брусника; за пределами площадки – проростки шиповника, березы и осины; ПП = 40–50 %, ВП = 4–10 %

Примечания: ¹ Площадки 1–3 по растительности, почвам и населению беспозвоночных относятся к термофитным степям, 4 и 5 – к ксероморфным этапам пирогенной сукцессии, возрастом 60–70 и 20–30 лет соответственно (Берман и др., 2007). ² Коэффициент континентальности Иванова (1959) для площадок 3–5 вычислен по климатической норме метеостанции Детрин. ³ В 2004 влажность почвы определена в конце периода наблюдений, на площадке 2 за 5–6 ч. до взятия проб прошел небольшой дождь. Влажность на площадке 5 – средняя за лето 1984 г.

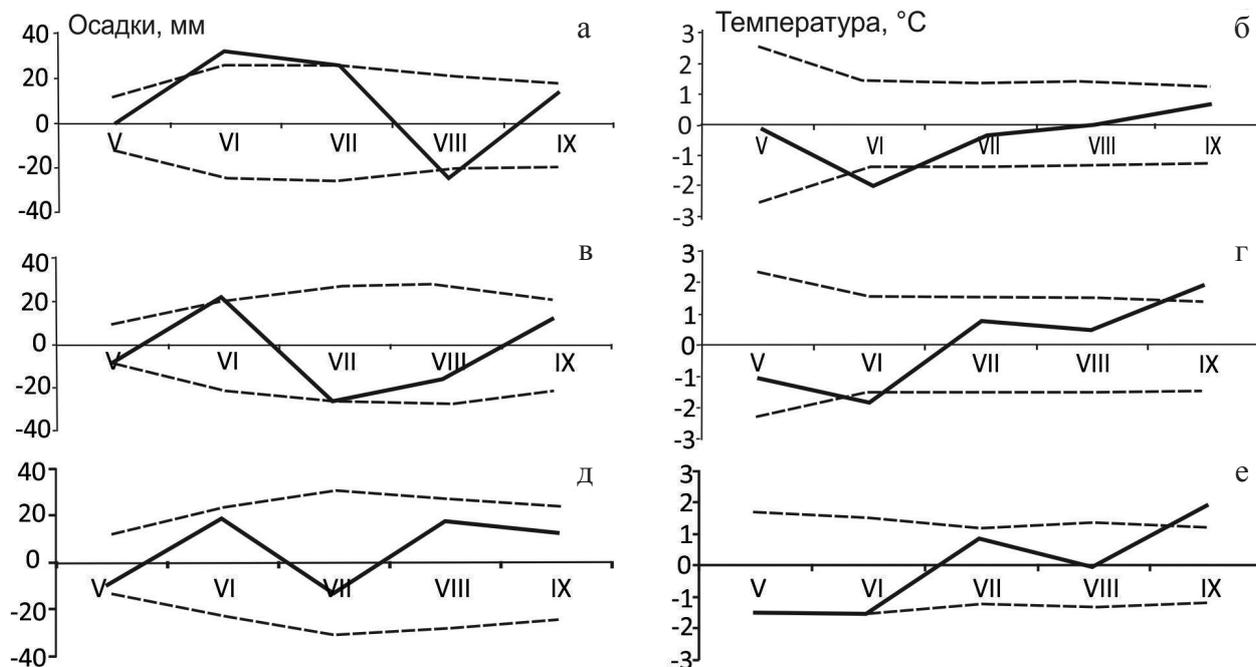


Рис. 2. Отклонения от нормы месячных сумм осадков и среднемесячной температуры воздуха в 2004 г. на опорных метеостанциях (жирные линии) и SD этих параметров (штриховые линии): Нера – а, б; Сусуман – в, г; Усть-Омчуг – д, е.

Fig. 2. Deviations of monthly precipitation and mean monthly air temperature in 2004 from the long-term norm (bold lines) and SD of these parameters (dashed lines): Nera – a, б; Susuman – в, г; Ust-Omchug – д, е.

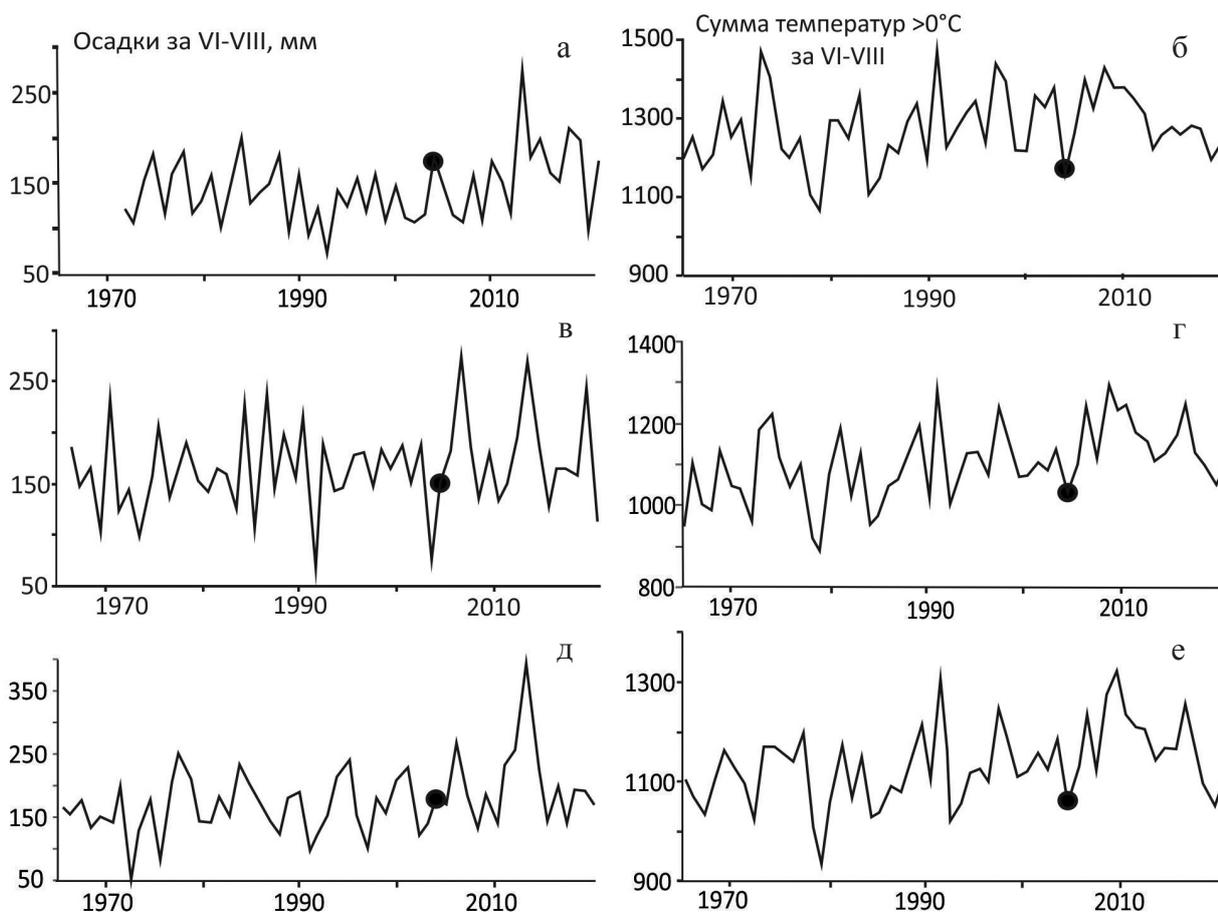


Рис. 3. Многолетний ход сумм осадков и сумм температур воздуха выше 0 °С за июнь–август на метеостанциях Нера – а, б; Сусуман – в, г; Усть-Омчуг – д, е. Значения показателей в 2004 г. – темный кружок.

Fig. 3. Long-term variations of precipitation and air temperature sums above 0 °C in June–August at weather stations Nera (а, б); Susuman (в, г); Ust-Omchug (д, е). Values of the parameters in 2004 are presented by filled circles.

Таблица 2. Температура воздуха и осадки на опорных метеостанциях за период измерений температур почв в 2004 г. и многолетняя норма этих показателей (Справочник..., 1966а, б; 1968а, б)

Table 2. Air temperature and precipitation at the reference weather stations over the period of soil temperature measurements in 2004 and the long-term norm of these indicators (Reference Book..., 1966a, b; 1968a, b)

Опорные метеостанции	Период осреднения	Суммы температур выше, чем				Осадки за V–IX (мм)
		0°	5°	10°	15°	
Нера	19.05–19.09.2004	1431	1377	1193	360	232
	Норма (1931–1960 гг.)	1418	1347	1126	473	199
	% от нормы	101	102	106	76	117
Сусуман	17.05–20.09.2004	1206	1156	720	222	199
	Норма (1931–1960 гг.)	1203	1136	836	–	195
	% от нормы	103	99	85	–	102
Усть-Омчуг	15.05–15.08.2004	1300	1247	906	244	234 ¹
	Норма (1931–1960 гг.)	1289	1211	917	–	228
	% от нормы	101	103	99	–	120

Примечания: ¹Для характеристики осадков используются осредненные показатели по метеостанциям Оротук, Бохапча, оз. Дж. Лондона и Ягодное. Прочерк – отсутствие температур выше 15 °С чаще, чем в половине лет.

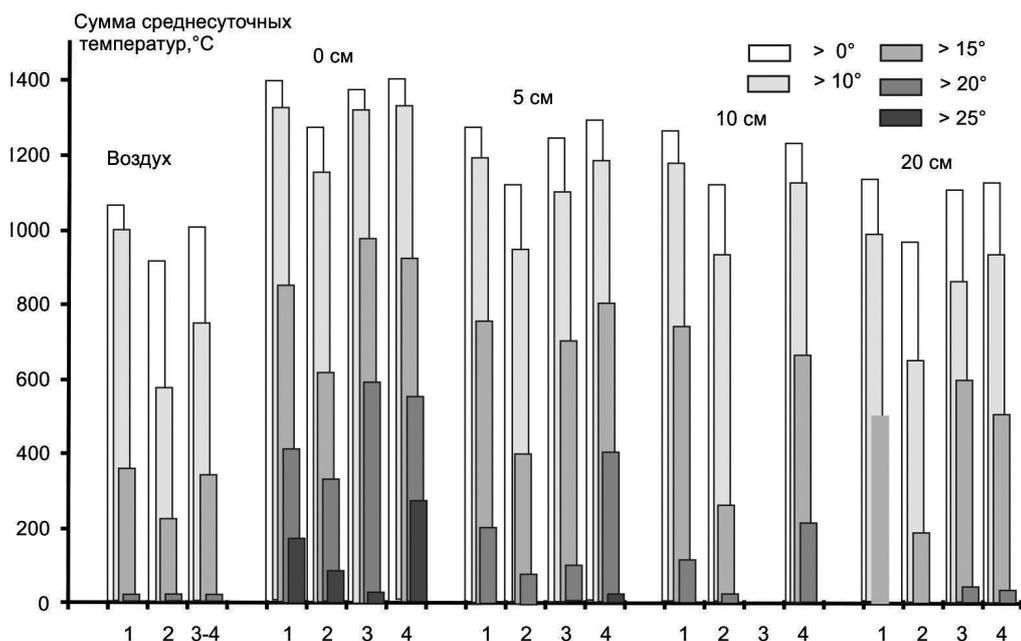


Рис. 4. Суммы температур воздуха на опорных метеостанциях и почвы на обследованных участках за период синхронных измерений (с 19.05 по 15.08.2004). Цифры по оси абсцисс – номера площадок в табл. 1. Здесь и далее данных о температуре на глубине 10 см на пл. 3 нет; для площадок 3 и 4 принята одна опорная метеостанция – Усть-Омчуг.

Fig. 4. Sums of air temperatures at the reference weather stations and soil temperatures at the sites studied for the synchronous measurements period (19.05 through 15.08.2004). Numbers under the horizontal axis are the numbers of sites in Table 1. Hereinafter, there are no data on temperature at 10 cm depth at site 3; one weather station, Ust-Omchug, is taken as a reference for sites 3 and 4.

в приповерхностном слое почвы степного склона в долине р. Нера не уступали таковым у биотопов в окрестностях Колымского водохранилища, то на глубине 20 см различия между этими площадками в наиболее теплый период становятся значимыми. В почве склона в долине Неры температуры выше 20 °С не поднимались, а в долине Колымы такие температуры регистрировались в течение 2 сут.

В приповерхностном слое почв всех обследованных биотопов средние суточные температуры выше 25 °С отмечались в течение 3–6 дней, их наиболее высокие значения составляли 27–29 °С, а суточные максимумы достигали 54–55 °С (рис. 5). Число дней с температурами выше 10 и 15 °С в слое 0–10 см варьирует слабо и ощутимо убывает лишь глубже 10 см. Напротив, основное падение максимальных температур и суточ-

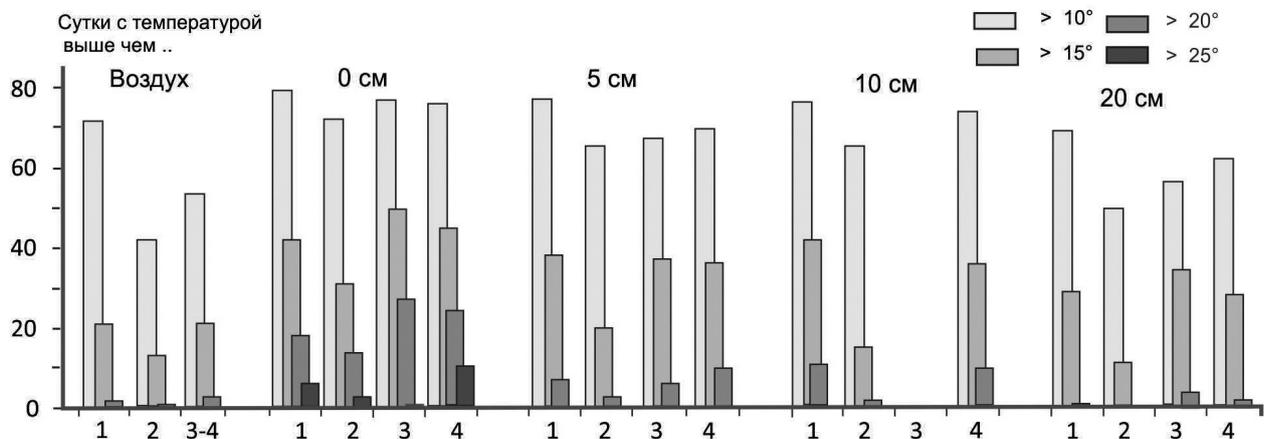


Рис. 5. Число дней со среднесуточными температурами выше определенных пределов за период синхронных измерений.

Fig. 5. Number of days with mean daily temperatures above certain limits for the synchronous measurements period.

ных амплитуд происходит в верхнем 5-см слое, на больших глубинах эти показатели на всех площадках очень похожи (рис. 6).

Диапазон погодных условий в теплые сезоны 1983–1985 гг. и 2008–2009 гг., в течение которых в долине Колымы измерялись температуры почв ксероморфных биотопов (см. табл. 1), достаточно широк: отношение месячных сумм температур воздуха к норме варьировало от 0.8 до 1.5, а аналогичный диапазон для осадков был еще шире – от 0.5 до 2.6. Как правило, отклонения температур и осадков связаны: большая часть месяцев была либо сухой и теплой, либо сырой и холодной.

Широко варьировала и теплообеспеченность почв. В почве ксероморфных биотопов в слое 0–2 см и на глубине 20 см отношение сумм температур выше 0 °С к суммам температур воздуха изменялось от 1.3 до 1.6 и от 1.0 до 1.5 соответственно. На степных склонах в 2004 г. это соотношение было уже: 1.3–1.4 и 1.0–1.3 соответственно (табл. 3). Несмотря на то что весной и осенью почвы были много теплее воздуха (в мае и в сентябре в приповерхностном слое отношение названных температур возрастало до 2.5–2.7, а на глубине 20 см до 1.4–1.5), средние

за теплый сезон отношения были близки к указанным выше для летних месяцев. При этом связи отношений температур почв и воздуха с климатическими условиями в период наблюдений (сырой или сухой, холодный или теплый месяц или сезон) не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Различия температурного режима почв степных и ксероморфных биотопов в верховьях Колымы и Индигирки. Проведенные наблюдения не выявили связанных с континентальностью различий между теплообеспеченностью почв степных биотопов в верховьях Индигирки и Колымы, а также между степными и ксероморфными биотопами на южных склонах в верховьях Колымы. Ни в один из 15 месяцев наблюдений соотношение температур почв и воздуха на ксероморфных биотопах не уступало, а, как правило, было выше отношений, полученных для степных участков в 2004 г.

Сходство условий теплообеспеченности обследованных площадок, скорее всего, имеет конвергентный характер, т. к. на температурах почв неизбежно сказываются особенности географического положения склонов: широты, высоты над

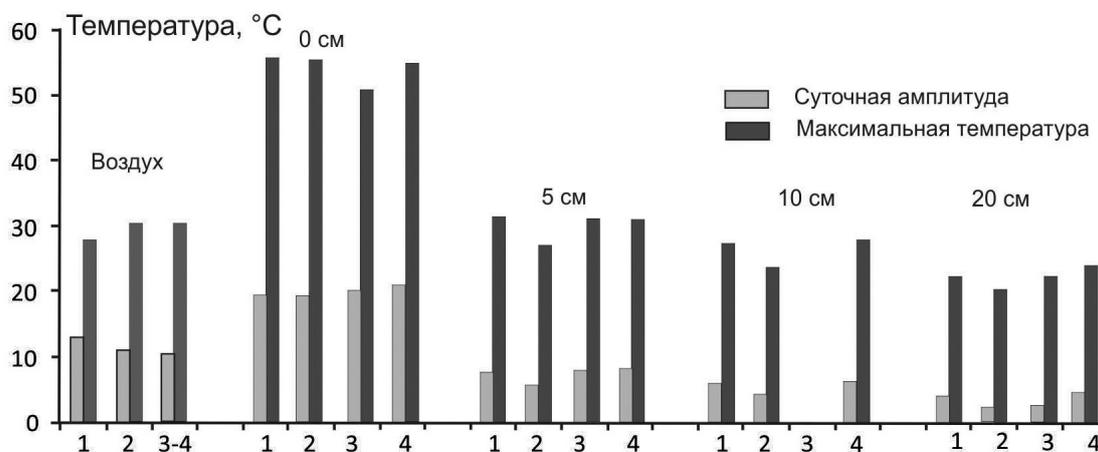


Рис. 6. Средние суточные амплитуды и максимальные температуры воздуха и почвы за период синхронных измерений.

Fig. 6. Mean daily amplitudes and maximum air and soil temperatures for the synchronous measurements period.

Таблица 3. Диапазон отношений сумм температур почв на южных склонах и температур воздуха в верховьях Колымы и Индигирки в различные годы

Table 3. Range of relations between the sums of soil temperatures on southern slopes and air temperatures in the Kolyma and Indigirka headwaters in different years

Глубина	Июнь		Июль		Август	
	Степные	Ксероморфные	Степные	Ксероморфные	Степные	Ксероморфные
0–2 см	1.25–1.35	1.35–1.80	1.30–1.35	1.25–1.50	1.30–1.40	1.40–1.60
20 см	1.00–1.05	1.10–1.55	1.00–1.20	1.05–1.25	1.15–1.30	1.05–1.35

уровнем моря, экспозиции, ориентации по направлению к преобладающим ветрам и т. п. Так, степи в долинах рр. Нера и Сусуман расположены севернее и выше, чем колымские степные и ксероморфные выделы (на 3° и 1° и на 100–200 м соответственно). В то же время экспозиция наиболее южной из обследованных площадок – термофитной степи на берегу Колымского водохранилища (№ 3 в табл. 1 и на рис. 4–6) сильнее других отличается от оптимальной, составляющей 180–190° (Щербаков, 1970). При этом названный участок расположен на меньшей абсолютной высоте и укрыт от ветров, дующих вдоль долины Колымы, лучше, чем остальные площадки.

Различия температурного режима почв обследованных биотопов достигают ощутимых величин лишь на глубине более 10 см, что определяется особенностями почвенных профилей и не имеет отношения к континентальности климата.

Основной фактор, который обеспечивает сходство теплообеспеченности почв степных и ксероморфных биотопов в бассейнах Индигирки и Колымы, – это режим их увлажнения. При отсутствии дождей в течение 2–3 недель влажность приповерхностного слоя почв таких биотопов составляет 1–2 %, на глубинах 10 и 20 см она не превышает 4–6 % и 6–8 % соответственно (Берман и др., 2004). Наиболее часто, 3–4 раза в месяц, в верховьях Колымы и Индигирки выпадают дожди интенсивностью 6–8 мм или 12–15 % месячной нормы осадков в сутки (Справочник..., 1968а, б). После таких дождей влажность почвы возрастает до 5–6 % лишь в приповерхностном слое, но уже через сутки она возвращается к прежним значениям 1–3 %. После обильных дождей, когда месячная норма выпадает в течение 2–4 суток, влажность на глубинах 10 и 20 см может повышаться до 15–20 %, а в слое 0–2 см даже до 40 %. В этом случае высыхание почвы на названных глубинах до значений 4–8 и 1–2 % соответственно занимает 7–10 суток. Однако осадки, превышающие 20–25 мм/сут, в каждый из летних месяцев выпадают не чаще, чем раз в 3–5 лет (Научно-прикладной справочник..., 1989, 1990).

В континентальных районах Северо-Востока Азии осадки часто связаны с адвекциями холодного воздуха (Клюкин, 1970), при которых температура почвы ксероморфных биотопов южных склонов в слое 0–2 см опускается до 8–10 °С. Однако после такого охлаждения и слабого промачивания средняя суточная температура в названном слое через сутки поднимается до 20 °С, а через 1–2 дня могут регистрироваться температуры до 30 °С и выше. Поэтому на долю любого летнего месяца может приходиться 22–30 % от сезонных сумм. Иными словами, за 1–2 теплые декады сухие почвы термофитных степей и ксероморфных выделов могут набрать достаточно высокие

месячные суммы температур, а за 1–2 теплых месяца – высокие сезонные суммы (Берман и др., 2004). Даже отмечавшееся в июне 2004 г. сочетание низких температур воздуха и частых дождей незначительно повлияло на температуры почвы: их суммы на степных склонах за этот месяц составили 21–22 % от сезонных, что всего на 4–5 % меньше обычного для почв ксероморфных биотопов.

Сходство теплообеспеченности почв степных и ксероморфных выделов на южных склонах ставит под сомнение роль гидротермического режима в длительной сохранности степных биотопов во «враждебном» горно-таежном мерзлотном окружении. На ксероморфных биотопах, имеющих преимущественно пирогенное происхождение, в течение нескольких десятков лет появляются проростки и молодые деревья осины, березы или лиственницы. На степных же склонах, даже на тех, где не выпасают скот, многие десятки, а возможно, и сотни лет нет признаков продвижения древесной растительности.

Роль теплообеспеченности почв в обеднении фауны термофитных степей. Индикаторами обеднения степных сообществ при переходе от верховий Индигирки к верховьям Колымы могут служить изменения в фауне степных видов беспозвоночных. Из 7 степных видов долгоносиков – обитателей склоновых термофитных степей Индигирки, основные ареалы которых лежат в горных степях Юга Сибири, на Колыме остается 3, для жуужелиц указанное отношение составляет 14 к 9, для полужесткокрылых – 34 к 25 (Berman et al., 2011). В какой мере это обеднение связано с современными температурными условиями, можно оценить, используя выявленные показатели теплообеспеченности почв термофитных степей и температурные характеристики воздуха на границе современных ареалов степных видов насекомых.

Анализ условий на границах ареалов степных видов жуужелиц, листоедов, полужесткокрылых, долгоносиков и др., распространенных на Северо-Востоке Азии, показал, что наиболее информативны в этом отношении долгоносики (Алфимов и др., 2003; Berman et al., 2011). Однако в распределении 7 южносибирских видов долгоносиков (5 – степных и 2 – криофитно-степных), обитающих в верховьях Индигирки и Колымы, роль современных условий теплого сезона неочевидна (табл. 4). С одной стороны, виды с более низкой температурной границей распространены в обоих бассейнах. С другой стороны, два вида – *Stephanocleonus foveifrons* и *St. fossulatus* – имеют одну и ту же «нижнюю» температурную границу, но при этом первый распространен только в бассейне Индигирки, а второй достигает бассейна Колымы.

Таблица 4. Температурные границы современных ареалов степных и криофитностепных видов долгоносиков

Table 4. Temperature boundaries of modern ranges of steppe and cryophyte-steppe weevil species

№	Вид	Температура воздуха в июле в пределах ареала (°С)	
		Минимальная	Максимальная
1	<i>Coniocleonus vinokurovi</i> (c)	12.0	20.2
2	<i>Stephanocleonus eruditus</i> (c)	12.0	19.8
3	<i>St. foveifrons</i> (c)	10.4	19.8
4	<i>St. fossulatus</i> (c)	10.4	21.0
5	<i>Coniocleonus ferrugineus</i> (c)	10.0	22.0
6	<i>C. cinerascens</i>	7.6	20.2
7	<i>C. astragali</i>	3.6	16.7

Примечания: Жирным шрифтом выделены виды, обитающие в термофитных степях верховий и Индигирки и Колымы, обычным – только в верховьях Индигирки. Буква в скобках (c) означает принадлежность к степной группе видов, отсутствие индекса – к криофитностепной.

St. eruditus – один из двух видов с нижним порогом июльской температуры воздуха 12 °С, которая отмечается в горных районах Юга Сибири и Севера Монголии на высотах порядка 2500 м н. у. м. Перенос этого значения на районы распространения термофитных степей в верховьях Колымы не вполне корректен, т. к. при одной и той же температуре воздуха на высотах более 1500–2000 м н. у. м. температура поверхности почвы ощутимо выше, чем на высотах 200–600 м н. у. м. (Давитая, Мельник, 1962). В равнинных частях ареала *St. eruditus* самые низкие температуры июля отмечаются в верховьях Индигирки (13–14 °С). Однако на термофитных степях в верховьях Колымы, на высоте 400–700 м н. у. м., где средняя температура июля не ниже, а порой и выше, чем на Индигирке (Алфимов, Берман, 2021), а температуры верхних слоев почв неотличимы от таковых на Индигирских степях, вид не найден.

Основной ареал *Coniocleonus vinokurovi*, второго вида с высоким нижним порогом температур, охватывает бассейны Амура, Лены и Яны. Так же, как и у *St. eruditus*, самые низкие температуры воздуха отмечаются в горной его части на высоте около 2000 м. Северная граница равнинной части ареала *C. vinokurovi* проходит в окрестностях Верхоянска, где средняя температура июля составляет 15–15.2 °С (Справочник..., 1966а), что неотлично от температур в Сеймчане (верховья Колымы), т. е. вполне допускает существование вида на термофитных степных склонах в этом районе.

Таким образом, отсутствие всех трех степных видов долгоносиков (*St. eruditus*, *St. foveifrons* и *C. vinokurovi*) на степных склонах в бассейне Колымы нельзя объяснить понижением теплообеспеченности, что ставит под сомнение роль современных температур теплого се-

зона в распространении степных видов беспозвоночных.

В какой мере существующее распределение степных видов зависит от условий прошлых климатических эпох, остается неясным в первую очередь потому, что остатков степных видов насекомых в отложениях холодных периодов плейстоцена и голоцена в верховьях Колымы и Индигирки пока не обнаружено. Однако, по палеонтологическим данным, в другом экстраконтинентальном районе Северо-Востока Азии – на Янском плоскогорье – степные экосистемы непрерывно существовали как минимум с Зырянского оледенения (Ashastina et al., 2018).

Сокращению площади степных склонов в бассейне Колымы могут способствовать и иные, не климатические и не исторические причины – такие, например, как наличие подходящих по экспозиции и площади склонов, обилие и доступность в материнских породах кальция, необходимого для формирования криоаридных степных почв, и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, теплообеспеченность почв термофитных степей в верховьях Индигирки и Колымы, несмотря на различие континентальности климата этих бассейнов, практически одинакова. Некоторое варьирование температурных характеристик почв от склона к склону объясняется различиями экспозиции, широты и высоты над уровнем моря, особенностями почвенного профиля. Поэтому маловероятно, что уменьшение разнообразия фауны степных беспозвоночных от Индигирки к Колыме отражает изменение современных климатических условий теплого сезона.

Не различаются также температуры и влажность почв степных и ксероморфных биотопов

на южных склонах, которые обычно представляют собой начальные стадии после пожарных сукцессий. При этом ксероморфные биотопы в течение нескольких десятков лет зарастают осиной, березой или лиственницей, тогда как следы зарастания степных склонов деревьями крайне редки. Тем самым положение о том, что различия гидротермического режима почв степных склонов и окружающих их редколесных биотопов служат главным фактором, обеспечивающим длительную сохранность степных биоценозов в таежно-мерзлотном окружении, также не подтвердилось. Можно предположить, что определенная роль в сохранении степных сообществ отводится особенностям степных криоаридных почв, а в наиболее обжитых районах и антропогенному воздействию – выпасу скота.

Работа поддержана грантом РФФИ 04–05–64157.

ЛИТЕРАТУРА

- Алфимов А. В., Берман Д. И. Северо-восток Азии как температурная гиперзона и ее изменения за последние 60 лет. Сообщение 1. Температурный режим теплового сезона на северо-востоке Азии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26, № 4. С. 67–81. DOI: 10.31242/2618–9712–2921–26–4–67–81.
- Алфимов А. В., Берман Д. И., Шер А. В. Тундростепные группировки насекомых и реконструкция климата позднего плейстоцена низовий Колымы // Зоологический журнал. 2003. Т. 82, № 2. С. 281–300.
- Берман Д. И. О зоологическом статусе приполярных степей Якутии / VI симпозиум «Биологические проблемы Севера»: тез. докл. Якутск, 1974. С. 163–165.
- Берман Д. И., Алфимов А. В. Контрастные экосистемы в континентальных районах Северо-Востока Азии // Доклады АН СССР. 1992. Т. 322, № 1. С. 196–199.
- Берман Д. И., Алфимов А. В. Микроклиматическая обусловленность существования степных экосистем в Субарктике // Бюллетень МОИП. 1993. Т. 98. Вып. 3. С. 118–128.
- Берман Д. И., Алфимов А. В., Жигульская З. А., Лейрих А. Н. Зимовка и холодоустойчивость муравьев на северо-востоке Азии. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2007. 266 с.
- Берман Д. И., Алфимов А. В., Мажитова Г. Г. Гидротермические условия существования основных компонентов экосистем Северо-Востока СССР // Известия АН СССР. Серия географическая 1990. № 6. С. 15–28.
- Берман Д. И., Алфимов А. В., Мажитова Г. Г., Гришкан И. Б., Юрцев Б. А. Холодные степи Северо-Восточной Азии. Магадан: ИБПС ДВО РАН, 2001. 182 с.
- Берман Д. И., Лейрих А. Н., Алфимов А. В. Об устойчивости дождевого червя, *Eisenia nordenskiöldi* (Oligochaeta, Lumbricidae) к экстремально низкой влажности почвы на Северо-Востоке Азии // Зоологический журнал. 2002. Т. 81, № 11. С. 1308–1318.
- ВНИИГМИ-МЦД. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения 15.03.2023).
- Давитая Ф. Н., Мельник Ю. С. Радиационный нагрев деятельной поверхности и граница леса // Метеорология и гидрология. 1962. № 1. С. 5–38.
- Докучаева В. Б., Синельникова Н. В. Реликтовые степи порядка *Helictotrichetalia schelliani* Hilbig 2000 в долине р. Омолон (Западная Чукотка) // Растительность России. Санкт-Петербург, 2011. № 17–18. С. 17–32.
- Иванов Н. Н. Пояса континентальности Земного шара // Известия ВГО. 1959. Т. 91, вып. 5. С. 410–423.
- Клюкин Н. К. Климат // Север Дальнего Востока. Москва: Наука, 1970. С. 101–132.
- Метеорологический ежемесячник. Магадан, 1983, 1984, 1985, 2004. Вып. 33. Ч. 2.
- Метеорологический ежемесячник. Якутск, 2004. Вып. 24. Ч. 2.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Ленинград: Гидрометеоздат, 1989. Сер. 3. Вып. 24. Ч. 1–6. Кн. 1. 607 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Ленинград: Гидрометеоздат, 1990. Сер. 3. Вып. 33. Ч. 1–6. 566 с.
- Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (дата обращения 15.03.2023).
- Справочник по климату СССР. Ленинград: Гидрометеоздат, 1966а. Вып. 24. Ч. 2. 401 с.
- Справочник по климату СССР. Ленинград: Гидрометеоздат, 1966б. Вып. 33. Ч. 2. 288 с.
- Справочник по климату СССР. Ленинград: Гидрометеоздат, 1968а. Вып. 24. Ч. 4. 351 с.
- Справочник по климату СССР. Ленинград: Гидрометеоздат, 1968б. Вып. 33. Ч. 4. 258 с.
- Щербаков Ю. А. Из опыта изучения роли экспозиции в ландшафтообразовании // Ученые записки Пермского университета. 1970. № 240. С. 3–10.
- Юрцев Б. А. Проблемы ботанической географии Северо-Восточной Азии. Ленинград: Наука, 1974. 160 с.
- Юрцев Б. А. Реликтовые степные комплексы Северо-Восточной Азии. Новосибирск: СО АН СССР, 1981. 167 с.
- Ashastina K., Kuzmina S., Rudaya N., Troeva E., Schoch W., Römermann C., Reinecke J., Otte V., Savvinov G., Wesche K., Kienast F. Woodlands and steppes: Pleistocene vegetation in Yakutia's most continental part recorded in the Batagay permafrost sequence // Quaternary Science Reviews. 2018. Vol. 196. P. 38–61. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.07.032.
- Berman D., Alfimov A., Kuzmina S. Invertebrates of the relict steppe ecosystems of Beringia and the reconstruction of Pleistocene landscapes // Quaternary Science Reviews. 2011. Vol. 30. P. 2200–2219.

Поступила в редакцию 11.07.2023.

Поступила после доработки 07.09.2023.

CLIMATE CONTINENTALITY AND HEAT SUPPLY OF STEPPE SLOPE SOILS IN THE HEADWATERS OF THE INDIGIRKA AND KOLYMA RIVERS

A. V. Alfimov

Institute of Biological Problems of the North, FEB RAS, Magadan

Steppe biotopes on the southern slopes of the Indigirka and Kolyma headwaters, judging by vegetation and invertebrate population, are analogous to South Siberia's mountain steppes. At the same time, the area of steppe slopes and the number of steppe plant and animal species decrease from the Indigirka to the Kolyma. Climate continentality decreases in the same direction, which permits to consider it the main factor impacting the distribution of thermophytic steppes in Northeast Asia. Measurements of temperatures in thermophytic steppe soils in the named river basins revealed no soil heat supply differences related to climate continentality. Comparison of the measurement results with long-term observation data on xeromorphic biotopes of southern slopes in the upper reaches of the Kolyma River permitted to extend this conclusion to the soils of all open dry southern slopes in the headwaters of the Kolyma and Indigirka Rivers. Thus, the role of climate continentality and summer soil temperature regime in the long-term preservation of "islands" with a large number steppe species of plant and animal surrounded by permafrost mountain-taiga ecosystems in the upper reaches of the Indigirka River is questioned. It is shown that restrictions in the spatial distribution of some steppe invertebrate species are not determined by differences in the summer temperature regime of soil in the headwaters of the Indigirka and Kolyma Rivers, either.

Keywords: thermophytic steppes, Indigirka and Kolyma headwaters, climate continentality, soil heat supply.

REFERENCES

- Alfimov, A. V., Berman, D. I., 2021. Northeast of Asia as a Temperature Hyperzone and its Alteration Over the Past 60 years, *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 26 (4), 67–81. DOI: 10.31242/2618–9712–2921–26–4–67–81 [In Russian].
- Alfimov, A. V., Berman, D. I., Sher, A. V., 2003. Tundra-Steppe Insect Assemblages and Reconstruction of Late Pleistocene Climate in Lower Reaches of the Kolyma River, *Zoologicheskyy Zhurnal*. 82 (2), 281–300 [In Russian].
- Applied Scientific Reference Book on Climate of the USSR, 1989. Leningrad, Gidrometeoizdat, 3, 24, 1–6 [In Russian].
- Applied Scientific Reference Book on Climate of the USSR, 1990. Leningrad, Gidrometeoizdat, 3, 33, 1–6 [In Russian].
- Ashastina, K., Kuzmina, S., Rudaya, N., Troeva, E., Schoch, W., Römermann, C., Reinecke, J., Otte, V., Savvinov, G., Wesche, K., Kienast, F., 2018. Woodlands and Steppes: Pleistocene Vegetation in Yakutia's Most Continental Part Recorded in the Batagay Permafrost Sequence, *Quaternary Science Reviews*. 196, 38–61. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.07.032.
- Berman, D. I., 1974. On the Zoological Status of Near-Polar Circle Steppes of Yakutia, *Biological Problems of the North: Proceedings of the 6th Symposium*. Yakutsk, 163–165 [In Russian].
- Berman, D. I., Alfimov, A. V., 1992. Contrast Ecosystems in Continental Areas of Northeast Asia, *Doklady Akademii Nauk*. 322 (1), 196–199 [In Russian].
- Berman, D. I., Alfimov, A. V., 1993. Microclimatic Conditionality of Steppe Ecosystems Existence in Subarctic, *Bulletin of Moscow Society of Naturalists*. 98, 3, 118–128 [In Russian].
- Berman, D., Alfimov, A., Kuzmina, S., 2011. Invertebrates of the Relic Steppe Ecosystems of Beringia and the Reconstruction of Pleistocene Landscapes, *Quaternary Science Reviews*. 30, 2200–2219.
- Berman, D. I., Alfimov, A. V., Mazhitova, G. G., 1990. Hydrothermal Conditions of the Main Components of Ecosystems in the North-East of the USSR, *Izvestiya AS USSR. Geographical Series*. 6, 15–28 [In Russian].
- Berman, D. I., Alfimov, A. V., Mazhitova, G. G., Grishkan, I. B., Yurtsev, B. A., 2001. Cold Steppes of the North-East Asia. Magadan, IBPN FEB RAS [In Russian].
- Berman, D. I., Alfimov, A. V., Zhigul'skaya, Z. A., Leirikh, A. N., 2007. Wintering and Cold Hardiness of Ants in the North-East of Asia. Moscow, KMK Scientific Press Ltd. [In Russian].
- Berman, D. I., Leirikh, A. N., Alfimov, A. V., 2002. On Resistance of the Earthworm, *Eisenia nordenskiöldi* (Oligochaeta, Lumbricidae) to Extremely Low Soil Moisture in North-East of Asia, *Zoologicheskyy Zhurnal*. 81, 11, 1308–1318 [In Russian].
- Davitaya, F. N., Melnik, Yu. S., 1962. Radiation Heating of the Active Surface and the Forest Boundary, *Meteorologiya i Gidrologiya*. 1, 5–38 [In Russian].
- Dokuchayeva, V. B., Sinelnikova N. V., 2011. Relic Steppes of the Order *Helictotrichetalia schelliani* Hilbig 2000 in the Omolon Valley (Western Chukotka), *Vegetation of Russia*. St. Petersburg, 17–18, 17–32 [In Russian].
- Ivanov, N. N., 1959. Continentality Belts of the Globe, *Izvestiya VGO*. 91, 5, 410–423 [In Russian].

- Klyukin, N. K.*, 1970. *Climate, North of the Far East*. Moscow, Nauka, 101–132 [In Russian].
- Meteorological Monthly*, 1983, 1984, 1985, 2004. Magadan, 33, 2 [In Russian].
- Meteorological Monthly*, 2004. Yakutsk, 24, 2 [In Russian].
- Reference Book on Climate in the USSR*, 1966a. Leningrad, Gidrometeoizdat, 24, 2 [In Russian].
- Reference Book on Climate in the USSR*, 1966b. Leningrad, Gidrometeoizdat, 33, 2 [In Russian].
- Reference Book on Climate in the USSR*, 1968a. Leningrad, Gidrometeoizdat, 24, 4 [In Russian].
- Reference Book on Climate in the USSR*, 1968b. Leningrad, Gidrometeoizdat, 33, 4 [In Russian].
- Shcherbakov, Yu. A.*, 1970. From the Experience of Studying the Exposure Role in Landscape Formation, *Uchoniye Zapiski Permskogo Universiteta*. 240, 3–10 [In Russian].
- VNIIGMII-MCD*. URL: [http:// www.meteo.ru/data](http://www.meteo.ru/data) (accessed 15.03.2023).
- WeatherandClimate*. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (accessed 15.03.2023).
- Yurtsev, B. A.*, 1974. *Problems of Botanical Geography of Northeast Asia*. Leningrad, Nauka [In Russian].
- Yurtsev, B. A.*, 1981. *Relict Steppe Complexes in Northeast Asia*. Novosibirsk, SB AS USSR [In Russian].