

Опыт изучения пауков-герпетобионтов (Arachnida: Aranei) как индикаторов антропогенного воздействия в Норильском промышленном районе

Л. А. ТРИЛИКАУСКАС^{1*}, И. И. ЛЮБЕЧАНСКИЙ^{1, 2}, Г. Н. АЗАРКИНА¹

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН
630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 11
*E-mail: laimont@mail.ru

²Новосибирский государственный университет, факультет естественных наук
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

Статья поступила 27.11.2024

После доработки 17.01.2025

Принята к печати 20.01.2025

АННОТАЦИЯ

Исследованы возможность и перспективы использования пауков в качестве биоиндикатора степени антропогенного воздействия в Норильском промышленном районе. На трех трансектах полигонов (“Кайеркан”, “Норильск” и “Талнах”), расположенных в окрестностях г. Норильска на разном удалении от крупных промышленных объектов, проведены учеты пауков-герпетобионтов с помощью почвенных ловушек. Всего обнаружено 119 видов пауков. Наиболее богатыми видами оказались полигоны трансекты “Норильск”, где был собран 71 вид. Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена между расстоянием от предприятия и параметрами разнообразия таксоценов позволил установить значимую корреляцию почти исключительно для полигонов трансекты “Кайеркан” в 2022 и 2023 гг., положение которой в большей степени соответствовало преобладающему направлению ветров в районе Норильска. Таксономическое разнообразие пауков на этой трансекте также оказалось самым бедным. С расстоянием от завода положительно коррелировали индексы разнообразия, общее число видов, а также число видов и особей пауков-линифицид и соотношение между числом особей линифид и пауков-волков. В 2023 г. от расстояния значимо зависел только последний параметр. Только в 2022 г. статистически значимой была корреляция с расстоянием от завода динамической плотности пауков на трансекте “Норильск”. Ординация полигонов трех исследованных линий в разные годы методом неметрического многомерного шкалирования показала, что дифференциация полигонов, во-первых, хорошо соответствовала биотопическим различиям полигонов на всех трансектах, во-вторых, полигоны лучше дифференцировались до наступления фенологического лета и связанного с этим повышения температур и полного формирования различных ярусов растительности. Установлено, что напочвенные пауки могут быть использованы в качестве индикаторов негативного воздействия, при этом крайне важно проводить исследования в сходных биотопических условиях, максимально минимизировав их различия, а при анализе обязательно учитывать особенности сезонной динамики и влияния межгодовых флуктуаций климатических факторов.

Ключевые слова: Норильский промышленный район, напочвенные пауки, параметры разнообразия, ординация, ранговая корреляция Спирмена, индикационные свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Различные группы напочвенных беспозвоночных давно и широко используются в качестве индикаторов различных условий и типов антропогенного воздействия [Alaruikka et al., 2002; Колесникова, Таскаева, 2005; Cole et al., 2005; Гонгальский и др., 2007; Танасевич и др., 2009; Золотарев, Бельская, 2012; Любечанский, Азаркина, 2017]. В то же время результаты ряда проведенных исследований показывают, что индикационные свойства разных групп имеют свою специфику, а увеличение содержания загрязняющих веществ в почве далеко не всегда находит свое отражение в параметрах таксоценов исследуемых групп [Гонгальский и др., 2007; Золотарев, Бельская, 2012]. Сложности, с которыми сталкиваются специалисты при проведении такого рода исследований, заключаются, во-первых, в одновременном влиянии на биологические объекты сразу нескольких факторов, во-вторых, в экологической неоднородности групп, а следовательно, в различной реакции на одно и то же воздействие со стороны разных представителей даже одного, но крупного таксона.

Для Норильского промышленного района (НПР) характерен кумулятивный эффект негативного воздействия группы расположенных здесь предприятий горнодобывающего, перерабатывающего, энергетического комплексов, а также объектов городской инфраструктуры и коммунального хозяйства. Одним из основных факторов негативного воздействия на этой территории является аэрогенное загрязнение выбросами горнодобывающих и перерабатывающих предприятий [Yakovlev et al., 2008]. К настоящему времени влияние этого фактора в окрестностях НПР наиболее хорошо изучено только на примере растительного покрова [Вараксин, Кузнецова, 2008; Телятников, Пристяжнюк, 2014; и др.]. Территория НПР, как и другие районы, подверженные интенсивному негативному воздействию, нуждается в постоянном мониторинге. Для оценки состояния экосистем в условиях Крайнего Севера, а также площади зоны воздействия промышленных объектов/групп объектов, особенно при наличии мощного кумулятивного эффекта, крайне важен выбор эффективных биоиндикаторов, обладающих достаточно высокой чувствительностью.

В 2022–2023 гг. специалистами Института систематики и экологии животных СО РАН проводились исследования по оценке биоразнообразия и определения границ зон воздействия объектов ГМК “Норильский никель” на окружающие экосистемы. В числе биологических групп, на примере которых изучалось воздействие металлургических предприятий, были напочвенные (герпетобийные) пауки.

Цель исследования – оценить индикационные способности пауков герпетобия, а также эффективность и перспективы использования данной группы для оценки степени негативного антропогенного воздействия на биоразнообразие в НПР и его окрестностях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район работ

Исследования проводились в Норильском промышленном районе. Норильск – один из самых северных городов мира. Расположен в 300 км к северу от Северного полярного круга и является вторым по величине городом Красноярского края. Климат территории субарктический, резко-континентальный, характеризуется сочетанием низких температур воздуха (абсолютный минимум $-54,2^{\circ}\text{C}$) и шквального ветра, контрастом зимних и летних температур. Период с отрицательной температурой длится 280 дней в году. Продолжительность теплого периода около двух месяцев – с середины июня по август. Средняя температура теплого периода $+14,3^{\circ}\text{C}$, абсолютный максимум температуры воздуха $+31,7^{\circ}\text{C}$. В летние месяцы могут наблюдаться осадки в виде снега [<https://www.norilsk.ru/city/index.php>].

Средняя январская температура $-39,7^{\circ}\text{C}$. Снежный покров может лежать от 244 до 277 дней. В течение 45 суток длится полярная ночь. Летний период начинается с конца июня и продолжается до конца августа. Лето пасмурное и прохладное, со средней температурой июля $+13,6^{\circ}\text{C}$. За год средняя температура составляет $-9,6^{\circ}\text{C}$. В среднем безморозный период продолжается 84 дня, а иногда его продолжительность сокращается до 53 дней. В Норильске за год выпадает около 400 мм осадков, и большая их часть – в июле – октябре. Средняя отрицательная температура фикс-

сируется восемь месяцев в году и только четыре месяца имеют среднюю положительную температуру воздуха. [https://spravochnick.ru/geografiya/prirodno-klimaticheskie_usloviya/klimaticheskie_usloviya_norilsk/].

На территории НПП достаточно плотно располагается множество предприятий горнодобывающего, перерабатывающего, энергетического комплексов (включая такие крупные предприятия, как Надеждинский металлургический завод, Медный завод и др.) в сочетании с объектами городской инфраструктуры и городского коммунального хозяйства. В результате здесь ярко выражен кумулятивный антропогенный эффект воздействия близко расположенных предприятий и объектов городской инфраструктуры.

В зоне действия нескольких металлургических и перерабатывающих предприятий (принадлежащих главным образом компании “Норильский никель”) в НПП находятся лесотундровые, тундровые и болотные экосистемы, существующие в субарктических условиях, что делает их особенно уязвимыми. Негативное воздействие предприятий НПП на окружающую среду в основном затрагивает близлежащие территории и носит локальный характер – по линиям ветров [Юркевич и др., 2021].

Сбор материала

Сбор материала проводился в первой – второй декадах июля 2022 г. и с третьей декады июня по первую декаду июля 2023 г. В 2023 г. работы были продолжены на части полигонов, заложенных в 2022 г., а также закладывались новые (табл. 1). С учетом размещения крупных промышленных объектов в районе исследований были заложены три основные трансекты полигонов: на запад от Норильска – “Кайеркан”, на юг – “Норильск”, на северо-восток – “Талнах” (рис. 1). Всего учетами пауков охвачено 36 полигонов. Основные характеристики исследованных участков, включая удаленность от производственных объектов и типы местообитаний, представлены в табл. 1. Расстояния до полигонов измерялись от ближайшего к ним предприятия.

Пауки были собраны с помощью почвенных ловушек – пластиковых стаканов емкостью 200 мл и диаметром 6,5 см, с фиксато-

ром – раствором этиленгликоля с добавлением поверхностно-активного вещества. На каждом полигоне выставлялось по 16 ловушек, организованных в четыре площадки, с расстоянием между ловушками 3–5 м, а между площадками – по несколько десятков метров. Площадки выбирались с таким расчетом, чтобы представить все элементы микроландшафта полигона. Например, на грядово-мочажинном болоте две площадки размещались на грядах, а две – в мочажинах. Продолжительность экспозиции ловушек составляла от 8 до 12 суток в 2022 г. и 10 суток – в 2023 г. Всего в 2022 г. отработано 5168 ловушко-суток, собрано и включено в анализ 920 экземпляров пауков, в 2023 г. – 3200 ловушко-суток, собрано и включено в анализ 2518 экземпляров пауков.

Анализ материала

Для оценки чувствительности сообществ пауков к антропогенному воздействию в районе исследования были рассчитаны индексы разнообразия Симпсона и Шеннона, индексы доминирования и выравненности, а также общее число видов на каждом полигоне и суммарная динамическая плотность пауков. Самые многочисленные и разнообразные пауки-волки (Lycosidae) и пауки-линифииды (Linyphiidae) были выбраны как модельные группы. Выбор для анализа пауков-волков и линифиид обусловлен еще и тем, что в экологическом отношении эти пауки представляют собой принципиально разные группы. Сравнительно крупные пауки-волки не строят ловчих сетей, активно передвигаются по поверхности субстрата и практически не связаны с подстилкой. Линифииды, напротив, являются тенетными пауками, преимущественно мелких размеров, обитающими в основном в подстилке и зависящими от ее развития и структуры. Для оценки кумулятивного антропогенного воздействия были рассчитаны такие параметры, как динамическая плотность, а также число видов обеих групп и соотношение между числом особей линифиид и ликозид. Между указанными параметрами разнообразия и расстоянием до промышленного объекта рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Для визуализации различий между таксоценами пауков на полигонах каждой из трех

Список полигонов с указанием местообитаний, расстояний от промышленных объектов и их названий

Код полигона и годы работ	Биотоп	Расстояние до предприятия, км	Пред- приятие
1	2	3	4
Трансекта “Кайеркан”			
НК_7 2022	Плоскобугристое торфяное травяно-кустарничковое болото	24,0	НМЗ
НК_8 2022–2023	Слегка заболоченный луг с ивой и ольхой у водоема в долине	22,6	НМЗ
НК_9 2022–2023	Южный склон долины р. Амбарная с разнотравным лугом и заболоченным участком	17,5	НМЗ
НК_10 2022–2023	Заболоченная тундра на склоне северной экспозиции, со снежниками	12,4	НМЗ
НК_11 2022–2023	Луга и ивняки в пойме небольшой реки вблизи трассы и Кайеркана	8,5	НМЗ
НК_12 2022	Горелый лиственничник (10–20 лет после пожара) на пологом склоне, юго-западная экспозиция. В подлеске – ива, молодая лиственница	15,2	НМЗ
НК_13 2022	Торфяник на лиственничной гари (10–15 лет или более после пожара) на западном склоне холма	16,3	НМЗ
НФ_40 2022–2023	Ерниковые заросли	46,5	НМЗ
НФ_41 2022	Разнотравный луг с карликовой ивой на склоне	41,5	НМЗ
Трансекта “Норильск”			
НН_15 2022	Сухая гарь на бугре в торфянике	4,0	МЗ
НН_16 2022–2023	Луг на откосе у реки с голыми участками почвы. Сильное антропогенное влияние	7,0	МЗ
НН_17 2022	Берег водоема с мезофитными и заболоченными участками	6,5	НМЗ
НН_18 2022–2023	Болото с кустами ольхи и ивы в нижней части склона	9,4	НМЗ
НН_19 2022–2023	Склон долины реки с заболоченной поймой	16,9	НМЗ
НН_20 2023	Плоская влажная долина с ивняком высотой до 2 м и луговинами	20,0	НМЗ
НН_21 2022	Обширный вейниковый луг с кипреем на месте построек. Местами щебеночные технологические площадки, остатки свай. Мочажины	5,7	МЗ
НН_22 2022	Заболоченная долина ручья на склоне с гигрофитами	8,3	МЗ
НН_23 2022–2023	Переувлажненная долина ручья на склоне с осокой и пушицей	9,4	МЗ
НН_24 2022–2023	Влажный луг с ивняком в долине реки	14,0	МЗ
НН_25 2022–2023	Злаковая тундра с ивой	18,0	МЗ
НН_26 2022	Заросли березы и ольхи до 5 м высотой по краю старой лиственничной гари. Бугры антропогенного происхождения, большое количество крупного металлического мусора	7,8	НМЗ
НН_27 2022–2023	Влажный молодой березняк с ольховником и с участками луга	7,5	НМЗ
НФ_45 2023	Тундра злаково-кустарничковая	18,0	НМЗ
НТ_28 2022–2023	Тундра с заболоченными луговыми участками	3,5	Рудник “Комсомольский”
НТ_29 2022–2023	Лишайниково-кустарничковая тундра с редкими лиственницами	2,7	»
НТ_30 2022–2023	Замусоренное лиственничное редколесье с ольховником, ивой и можжевельником	2,4	»

1	2	3	4
Трансекта “Талнах”			
НТ_31 2022	Лиственничное редколесье с подлеском из ивы и карликовой березки	7,7	Рудник “Комсо- мольский”
НТ_32 2022	Лиственничное ерниковое редколесье	10,0	»
НТ_33 2022	Влажный лиственничник с подлеском из ивы и карликовой березки	12,0	»
НТ_34 2022	Лиственничное ерниковое редколесье с кустарничками	4,4	»
НТ_35 2022	Влажный елово-березовый лес с подлеском из можжевельника и ивы	2,7	»
НТ_36 2022	Березово-лиственничное редколесье с подлеском из ивы	3,0	»
НТ_37 2022–2023	Разреженный елово-березово-лиственничный лес с подлеском из можжевельника	5,5	»
НФ_38 2022–2023	Молодой лиственнично-березовый лес с ерником и полянами	10,5	»
НФ_39 2022	Ерниковая лесотундра на границе березово-елового леса и торфяного болота	14,2	»
НТ_44 2023	Лесотундра кустарничково-лишайниковая с редкими березами и еля- ми	8,2	»

П р и м е ч а н и е. НМЗ – Надеждинский металлургический завод; МЗ – Медный завод.

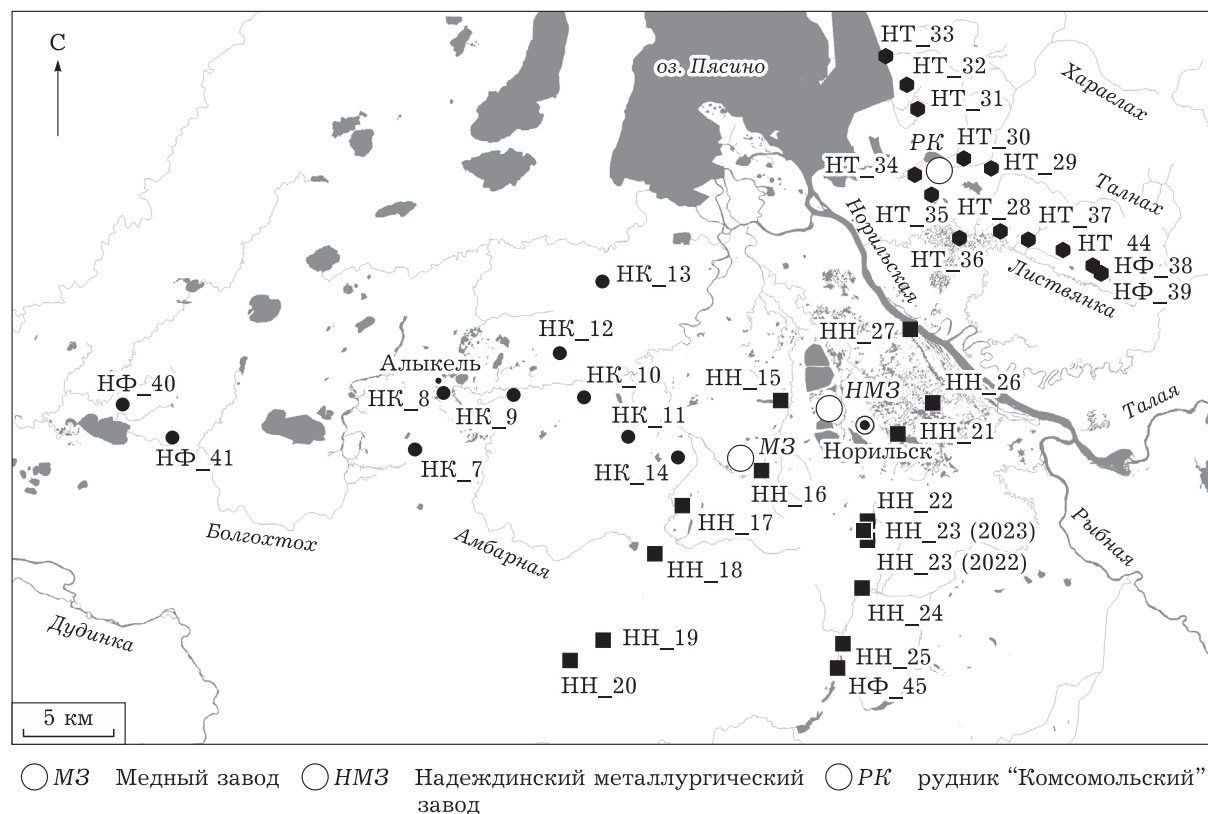


Рис. 1. Схема расположения трансект полигонов и промышленных объектов. Круги – полигоны трансекты “Кайеркан”, квадраты – полигоны трансекты “Норильск”, шестиугольники – полигоны трансекты “Талнах”.

Ост. усл. обозн. см. в тексте

трансект применялось неметрическое многомерное шкалирование (NMDS). Используются количественный индекс различия Брэя – Кертиса и бинарный индекс сходства Раупа – Крика. Качество ординации оценивалось с помощью диаграммы Шепарда, а также по величине стресса. Расчеты проведены в программе PAST 4 [Hammer et al., 2001].

Следует отметить, что ювенильные экземпляры, относящиеся к родам, представленным в сборах несколькими видами, исключены из расчетов индексов разнообразия, не учитывались при расчетах числа видов на полигонах, а также при анализе методом неметрического многомерного шкалирования. В случае, если на полигоне род был представлен одним видом, ювенильные особи этого рода были отнесены к этому виду. В случае, если ювенильные особи относились к роду, который был представлен только ювенильными экземплярами, они рассматривались и учитывались как отдельный вид. Перечисленные выше подходы применялись к материалу, собранному на каждой из трех исследованных трансектов в отдельности.

Для анализа результатов с учетом розы ветров по Норильску использованы данные электронного ресурса <https://world-weather.ru/archive/russia/norilsk/#t2>.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По итогам работ на всех обследованных полигонах обнаружено 119 видов пауков. Наиболее богатыми видами оказались полигоны трансекты “Норильск”, где был собран 71 вид (табл. 2). Таксономическое разнообразие пауков на трансекте “Талнах” отличалось незначительно (68 видов). На полигонах трансекты “Кайеркан” таксоцены пауков оказались беднее – здесь было собрано 60 видов пауков. Таксономическая структура населения пауков на всех трех трансектах полигонов была в целом сходной (рис. 2). Число видов подстилочных тенетников-линифиции всюду было более чем вдвое выше, чем бродячих пауков-волков. Наиболее разнообразной эта группа оказалась на полигонах трансекты “Норильск”.

Трансекта “Кайеркан”

В табл. 3 представлены параметры разнообразия на полигонах трансекты “Кайеркан”

в 2022 и 2023 гг. в порядке удаления от Надеждинского металлургического завода. Индекс доминирования имел самые высокие значения на полигонах, расположенных ближе всего к предприятию (НК_11 и НК_10). В 2023 г. на полигоне НК_11 этот индекс был более чем в 2 раза ниже, так как наблюдалась высокая активность сразу у нескольких видов пауков-волков. Высокие значения индексов разнообразия в большинстве случаев были получены для самых удаленных от промышленного объекта полигонов и в 2022 г., и в 2023 г., а также для полигона НК_12, расположенного более чем в 15 км от предприятия, где таксоцен пауков характеризовался низким индексом доминирования. На этом полигоне произрастает послепожарный лиственный лес и идет постпирогенная сукцессия. Хорошо развиты нижние ярусы растительности и много подроста лиственницы. Полигон НК_13 также представляет собой послепожарный биотоп, однако это торфяник. В подобных местообитаниях, как правило, высока численность видов, связанных с заболоченными станциями, и они резко преобладают над другими. Этим объясняются низкие значения индексов разнообразия на этом полигоне. Выравненность видовой структуры таксоценов в 2022 г. имела самые высокие значения на трех полигонах с хорошо развитым травостоем и отсутствием сомкнутого древесного яруса (НК_12, НК_7 и НФ_41). В 2023 г. исследования на этих участках не проводились. Значения выравненности на полигонах с двухлетними наблюдениями в 2023 г. были почти во всех случаях существенно ниже наблюдаемых в 2022 г., а самыми высокими были на ближайшем к заводу полигоне в пойме небольшой реки.

В 2022 г. пауки-линифиции были представлены самым большим числом видов на полигонах, удаленных от завода более чем на 40 км (НФ_41 и НФ_40). В 2023 г. работы были продолжены только на полигоне НФ_40, где отметили то же число видов, однако видовой состав стал иным (см. табл. 2). При этом таксономическое разнообразие этой группы оказалось самым высоким на полигонах НК_9 и НК_8, где годом ранее линифиды в сборах отсутствовали. Очевидно, что сроки работ в 2023 г. пришлись на время более высокой активности этих пауков. Число видов

Т а б л и ц а 2

Состав таксоценов пауков-герпетобионтов на полигонах Норильского промышленного района, экз. на 100 ловушко-суток

	Кайеркан		Норильск		Талнах	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
1	2	3	4	5	6	7
CLUBIONIDAE						
<i>Clubiona norvegica</i> Strand, 1900				2		
<i>Clubiona</i> sp.	1					
DICTYNIDAE						
<i>Arctella lapponica</i> Holm, 1945		3		8	1	4
GNAPHOSIDAE						
<i>Gnaphosa borea</i> Kulczyński, 1908	8	6		4	1	29
<i>Gnaphosa microps</i> Holm, 1939	3				4	
<i>Gnaphosa muscorum</i> (L. Koch, 1866)	5		4		2	
<i>Gnaphosa orites</i> Chamberlin, 1922	15	1	7	6		4
<i>Gnaphosa sticta</i> Kulczyński, 1908		1				
<i>Haplodrassus</i> sp.		1		3		3
<i>Haplodrassus soerenseni</i> (Strand, 1900)				5		6
<i>Haplodrassus stuxbergi</i> (L. Koch, 1879)	9	1	5	2	9	1
<i>Micaria alpina</i> L. Koch, 1872			1		6	3
<i>Micaria constricta</i> Emerton, 1894			3			
<i>Micaria tripunctata</i> Holm, 1978	2				2	
<i>Zelotes subterraneus</i> (C. L. Koch, 1833)					9	58
<i>Zelotes</i> sp.				1		
HAHNIDAE						
<i>Hahnia ononidum</i> Simon, 1875						15
LINYPHIIDAE						
<i>Agyneta amersaxatilis</i> Saaristo & Koponen, 1998				2		
<i>Agyneta cauta</i> (O. Pickard-Cambridge, 1903)		8				
<i>Agyneta decora</i> (O. Pickard-Cambridge, 1871)		1				
<i>Agyneta gulosa</i> (L. Koch, 1869)	1	1			1	
<i>Agyneta maritima</i> (Emerton, 1919)				10		
<i>Agyneta rurestris</i> (C. L. Koch, 1836)				3		
<i>Agyneta mossica</i> (Schikora, 1993)			1			
<i>Agyneta olivacea</i> (Emerton, 1882)						1
<i>Agyneta ripariensis</i> Tanasevitch, 1984		3				
<i>Agyneta similis</i> (Kulczyński, 1926)			1	3	1	
<i>Agyneta tibialis</i> Tanasevitch, 2005		12		5		
<i>Arcterigone pilifrons</i> (L. Koch, 1879)				1		
<i>Baryphyma trifrons</i> (O. Pickard-Cambridge, 1863)				1		
<i>Bathypantes eumenis</i> (L. Koch, 1879)		4		3	2	1
<i>Centromerus sylvaticus</i> (Blackwall, 1841)						1
<i>Ceratinella brevis</i> (Wider, 1834)					1	
<i>Ceratinella wideri</i> (Thorell, 1871)				1		
<i>Cnephalocotes obscurus</i> (Blackwall, 1834)		4				
<i>Collinsia caliginosa</i> (L. Koch, 1879)	1	2		1		
<i>Collinsia distincta</i> (Simon, 1884)			1			
<i>Collinsia holmgreni</i> (Thorell, 1871)			5			
<i>Connithorax barbatus</i> (Eskov, 1988)					1	
<i>Crosbylonia borealis</i> Eskov, 1988		1				
<i>Dactylopisthes mirificus</i> (Georgescu, 1976)	1		1			
<i>Dactylopisthes video</i> (Chamberlin & Ivie, 1947)		3		2		6
<i>Diplocentria bidentata</i> (Emerton, 1882)	1			1	1	39
<i>Diplocephalus cristatus</i> (Blackwall, 1833)			2			
<i>Diplocephalus</i> cf. <i>protuberans</i> (O. Pickard-Cambridge, 1875)				10	3	6

1	2	3	4	5	6	7
<i>Diplocephalus subrostratus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1873)			1	1	4	2
<i>Dismodicus bifrons</i> (Blackwall, 1841)	1					
<i>Dismodicus elevatus</i> (C. L. Koch, 1838)						1
<i>Drepanotylus borealis</i> Holm, 1945				1		
<i>Erigone atra</i> Blackwall, 1833			1		6	
<i>Erigone remota</i> L. Koch, 1869		1	16	12	1	
<i>Erigonella hiemalis</i> (Blackwall, 1841)					2	
<i>Gonatium rubens</i> (Blackwall, 1833)				1		
<i>Hilaira herniosa</i> (Thorell, 1875)		1				4
<i>Hilaira incondita</i> (L. Koch, 1879)			6			
<i>Hypselistes semiflavus</i> (L. Koch, 1879)		1				
<i>Horcotes strandi</i> (Sytshevskaja, 1935)		1		1		
<i>Islandiana falsifica</i> (Keyserling, 1886)			6			
<i>Leptorhoptrum robustum</i> (Westring, 1851)	2			1	1	5
<i>Macrargus multesimus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1875)		4			2	3
<i>Mecynargus paetulus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1875)			3	16	2	
<i>Mecynargus sphagnicola</i> (Holm, 1939)		1				3
<i>Metopobactrus prominulus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1873)		3				
<i>Micrargus herbigradus</i> (Blackwall, 1854)						3
<i>Oreoneta beringiana</i> Saaristo & Marusik, 2004	1					2
<i>Oreoneta leviceps</i> (L. Koch, 1879)		1		6		
<i>Oreonetides vaginatus</i> (Thorell, 1872)				2		9
<i>Oreonetides</i> sp. 1				1		
<i>Oryphantes angulatus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1881)			1		1	
<i>Oryphantes geminus</i> (Tanasevitch, 1982)		1		13		10
<i>Pelecopsis parallela</i> (Wider, 1834)	1					
<i>Perregrinus deformis</i> (Tanasevitch, 1982)				8		
<i>Porrhomma pygmaeum</i> (Blackwall, 1834)					1	
<i>Proislandiana pallida</i> (Kulczyński, 1908)				3		
<i>Pseudocyba miracula</i> Tanasevitch, 1984				6		
<i>Savignia birostrum</i> (Chamberlin & Ivie, 1947)		3				
<i>Semljicola barbiger</i> (L. Koch, 1879)						1
<i>Semljicola</i> cf. <i>faustus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1901)						1
<i>Styloctetor compar</i> (Westring, 1861)		1				9
<i>Thaleria orientalis</i> Tanasevitch, 1984				7		
<i>Tarsiphantes latithorax</i> Strand, 1905		1				
<i>Tenuiphantes tenebricola</i> (Wider, 1834)	1				5	
<i>Tiso aestivus</i> (L. Koch, 1872)						2
<i>Walckenaeria clavicornis</i> (Emerton, 1882)	1					
<i>Walckenaeria cuspidata</i> Blackwall, 1833						2
<i>Walckenaeria karpinskii</i> (O. Pickard-Cambridge, 1873)	1	4				6
<i>Walckenaeria kochi</i> (O. Pickard-Cambridge, 1873)			1	3		
<i>Walckenaeria korobeinikovi</i> Esyunin & Efimik, 1996				4		
<i>Walckenaeria nodosa</i> O. Pickard-Cambridge, 1873			2			
<i>Zornella cultigera</i> (L. Koch, 1879)					2	
LYCOSIDAE						
<i>Acantholycosa</i> sp.						2
<i>Alopecosa aculeata</i> (Clerck, 1757)	4	149	3	96	10	188
<i>Alopecosa hirtipes</i> (Kulczyński, 1907)		1	1	2		
<i>Alopecosa pictilis</i> (Emerton, 1885)	2	34	13	71	3	47
<i>Arctosa alpigena</i> (Doleschall, 1852)	9	55	5	85	10	33
<i>Pardosa atrata</i> (Thorell, 1873)	61	59	37	80	42	24
<i>Pardosa eiseni</i> (Thorell, 1875)	19	135	16	69	40	48
<i>Pardosa hyperborea</i> (Thorell, 1872)	2	1	1	13		5

1	2	3	4	5	6	7
<i>Pardosa indecora</i> L. Koch, 1879	40	84	61	99	24	25
<i>Pardosa lapponica</i> (Thorell, 1872)	6	96		8	12	74
<i>Pardosa lasciva</i> L. Koch, 1879				2		2
<i>Pardosa oljunae</i> Lobanova, 1978	1	3	12	103	12	41
<i>Pardosa paludicola</i> (Clerck, 1757)					2	
<i>Pardosa septentrionalis</i> (Westring, 1861)	9	24	11	211		
<i>Pardosa tesquorum</i> (Odenwall, 1901)		32	75	1	2	1
<i>Pirata piraticus</i> (Clerck, 1757)					3	
MITURGIDAE						
<i>Zora nemoralis</i> (Blackwall, 1861)				1		
PHILODROMIDAE						
<i>Philodromus</i> sp.	3	2				
<i>Thanatus arcticus</i> Thorell, 1872	3			3		3
SALTICIDAE						
<i>Sittisax ranieri</i> (G. W. Peckham & E. G. Peckham, 1909)				1	2	3
<i>Talavera tuvensis</i> Logunov & Kronestedt, 2003	1	2				1
TETRAGNATHIDAE						
<i>Pachygnatha</i> sp.				1		
THERIDIIDAE						
<i>Robertus lyrifer</i> Holm, 1939		1				
<i>Robertus lividus</i> (Blackwall, 1836)						6
THOMISIDAE						
<i>Ozyptila arctica</i> Kulczyński, 1908		5		3		1
<i>Ozyptila trux</i> (Blackwall, 1846)						1
<i>Psammitis albidus</i> (Grese, 1909)			2	7		
<i>Xysticus britcheri</i> Gertsch, 1934	22	5			5	2
<i>Xysticus obscurus</i> Collett, 1877	1				3	1
Всего видов	33	46	32	58	40	51
Всего видов на трансекте		60		71		68

пауков-волков варьировало на разных полигонах без какой-либо связи с удаленностью от завода и в 2022, и в 2023 г. При этом на по-

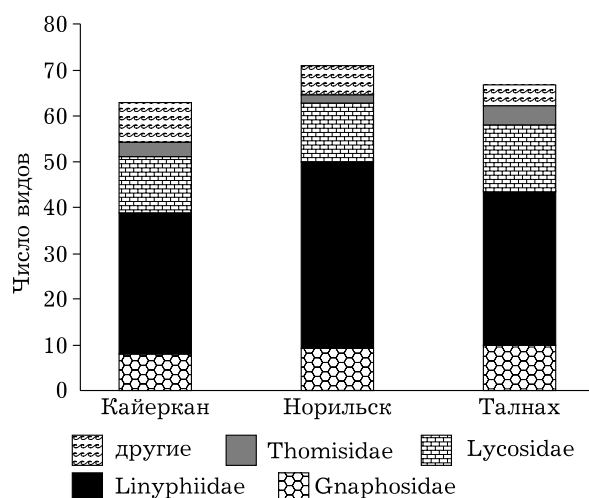


Рис. 2. Таксономическая структура населения пауков на трех трансектах

лигонах НК_11 и НК_8 число видов не отличалось в разные годы несмотря на разницу в сроках учетов, а на полигоне НК_9 в 2023 г. удалось собрать более чем вдвое большее число видов. Соотношения динамической плотности линифид и ликозид было наиболее высоким на самых дальних полигонах независимо от года проведения работ.

На рис. 3, а, б показаны значения числа видов и динамической плотности пауков для полигонов трансекты “Кайеркан” в 2022 и в 2023 гг. В 2022 г. прослеживается тренд к росту числа видов по мере удаления от завода, который в 2023 г. выражен не был. Динамическая плотность пауков была наиболее высокой на самом дальнем полигоне независимо от года работ. Общая картина изменений этого параметра по мере удаления от завода в разные годы была сходной, однако числовые значения суммарной динамической плотности в 2023 г. были существенно выше по сравнению с 2022 г.

Параметры разнообразия таксоценов пауков-герпетобионтов на полигонах трансекты “Кайеркан” в 2022–2023 гг.

Код полигона и расстояние от промышленного объекта, км	НК_11 (8,5)	НК_10 (12,4)	НК_12 (15,2)	НК_13 (16,3)	НК_9 (17,5)	НК_8 (22,6)	НК_7 (24,0)	НФ_41 (41,5)	НФ_40 (46,5)
Индекс доминирования	$\frac{0,44}{0,19}$	$\frac{0,49}{0,41}$	0,19	0,41	$\frac{0,23}{0,16}$	$\frac{0,19}{0,18}$	0,12	0,12	$\frac{0,17}{0,19}$
Индекс Симпсона	$\frac{0,56}{0,81}$	$\frac{0,51}{0,59}$	0,81	0,59	$\frac{0,77}{0,84}$	$\frac{0,81}{0,82}$	0,88	0,88	$\frac{0,83}{0,81}$
Индекс Шеннона	$\frac{1,22}{1,84}$	$\frac{0,98}{1,44}$	1,80	1,14	$\frac{1,67}{2,20}$	$\frac{1,87}{2,20}$	2,29	2,41	$\frac{2,06}{2,01}$
Выравненность	$\frac{0,48}{0,48}$	$\frac{0,67}{0,35}$	0,86	0,63	$\frac{0,76}{0,39}$	$\frac{0,72}{0,43}$	0,82	0,80	$\frac{0,60}{0,41}$
Число видов Linyphiidae	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{3}$	0	0	$\frac{0}{9}$	$\frac{0}{9}$	1	5	$\frac{6}{6}$
Число видов Lycosidae	$\frac{6}{8}$	$\frac{3}{5}$	2	5	$\frac{4}{9}$	$\frac{6}{8}$	5	3	$\frac{4}{7}$
Динамическая плотность Linyphiidae в 2022–2023 гг. (экз. на 100 ловушко-суток)	$\frac{0,0}{3,0}$	$\frac{0,0}{2,5}$			$\frac{0,0}{10,0}$	$\frac{0,0}{6,9}$	1,1	3,1	$\frac{6,9}{16,3}$
Динамическая плотность Lycosidae в 2022–2023 гг. (экз. на 100 ловушко-суток)	$\frac{23,9}{102,5}$	$\frac{16,0}{30,0}$	12,2	23,0	$\frac{20,0}{98,8}$	$\frac{26,1}{66,3}$	21,6	3,1	$\frac{13,8}{123,1}$
Соотношение динамической плотности Linyphiidae/Lycosidae в 2022–2023 гг.	$\frac{0,00}{0,03}$	$\frac{0,00}{0,08}$			$\frac{0,00}{0,10}$	$\frac{0,00}{0,10}$	0,05	1,00	$\frac{0,5}{0,13}$

П р и м е ч а н и е. В числителе – данные 2022 г., в знаменателе – данные 2023 г.

Трансекта “Норильск”

В табл. 4 представлены параметры разнообразия на полигонах трансекты “Норильск” в 2022 и 2023 гг. в порядке удаления от завода. Самые высокие значения индекса доминирования в 2022 г. получены для полигона НН_21, расположенного менее чем в 6 км от Медного завода. На этом участке были наиболее выражены следы антропогенного воздействия и характерно высокое увлажнение с доминированием обитателя влажных мест *Pardosa atrata*. Индексы доминирования на других исследованных участках были существенно ниже. В 2023 г. этот параметр был самым высоким на двух полигонах с тундровой растительностью в 18 км от предприятия (НН_25 и НФ_45).

Самые высокие индексы разнообразия в 2022 г. получены для таксоценов пауков на полигоне, где произрастает влажный молодой березняк с развитыми нижними ярусами (НН_27). В следующем сезоне лидером по значениям индексов разнообразия стал полигон НН_24, а на полигоне НН_27 эти индексы

стали одними из самых низких на трансекте. Обусловлено это, прежде всего, изменениями в структуре населения пауков-волков, возрастанием активности отдельных видов. На полигоне НН_24 число особей в сборах таких видов, как *Alopecosa aculeata*, *Pardosa indecora* и *P. ol-junae*, стало высоким и почти равным между собой, в то время как на полигоне НН_27 доля первого и последнего из названных выше видов стала очень высокой в сравнении с другими видами. Крайне низкие значения индексов Симпсона и Шеннона получены для полигона НН_21, расположенного на сильно трансформированном человеком участке, который изучался только в 2022 г. Наиболее выравненная видовая структура таксоценов пауков в 2022 г. была характерна для полигонов НН_16 и НН_17 с луговой растительностью и расположенных на берегах водоемов, несмотря на то что на первом полигоне отмечены следы сильного антропогенного воздействия. Высокая выравненность видовой структуры получена и для полигона, расположенного в переувлажненной долине ручья, причем высоким этот параметр

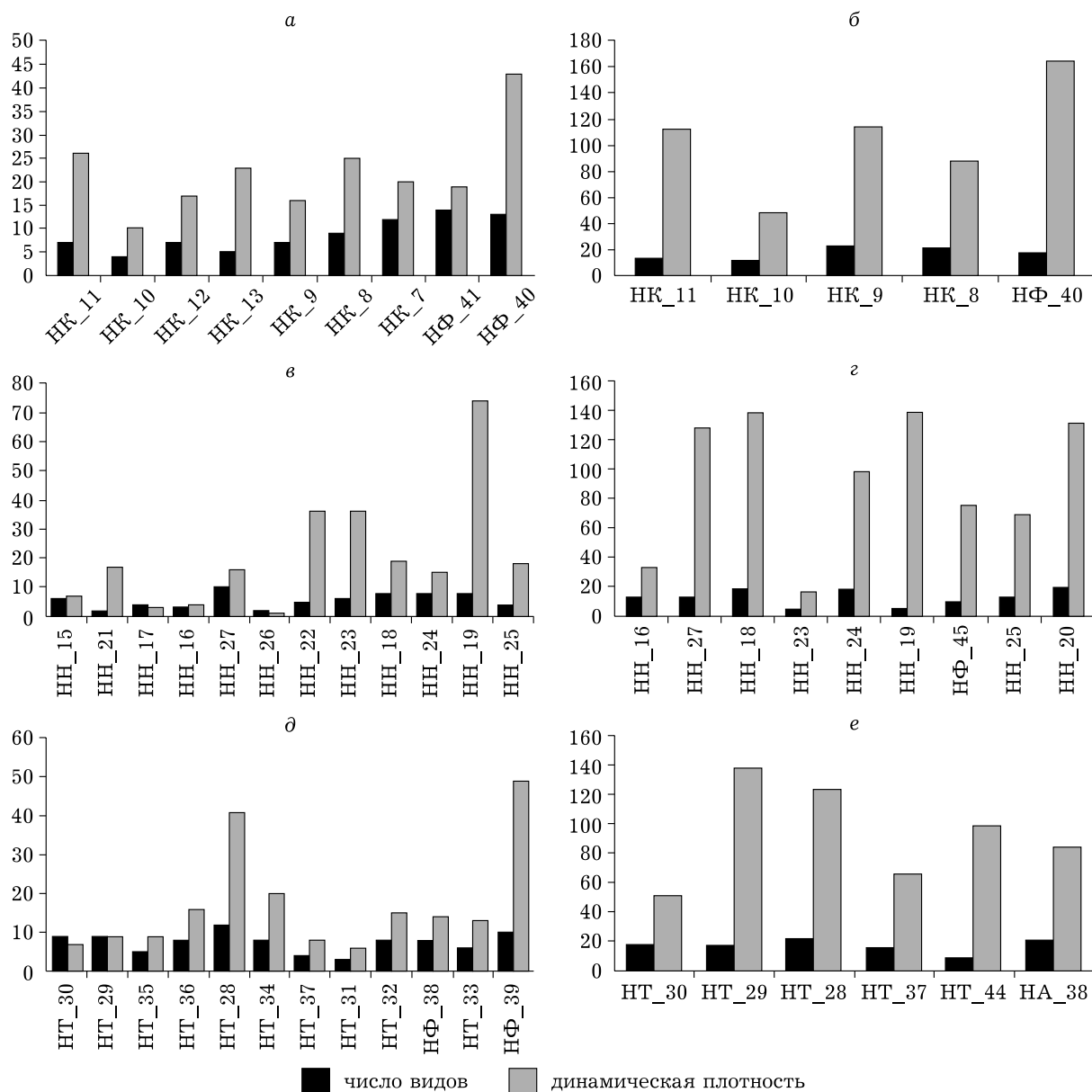


Рис. 3. Число видов и динамическая плотность пауков на полигонах трех исследованных трансект. а, б – по данным трансекты “Кайеркан” в 2022 и 2023 гг. соответственно; в, г – по данным трансекты “Норильск” в 2022 и 2023 гг. соответственно; д, е – по данным трансекты “Талнах” в 2022 и 2023 гг. соответственно

был и в 2022, и в 2023 г. (полигон НН_23). Резкое увеличение выравненности видовой структуры в 2023 г. наблюдалось на полигоне НН_19, что можно объяснить прекращением активности двух видов ликозид-доминантов (*Pardosa indecora* и *P. tesquorum*).

Мелкие тенетные пауки-линифииды в 2022 г. оказались наиболее разнообразными на полигонах НН_22 и НН_23, где расстояние от завода составило 8,3 и 9,4 км соответственно. В 2023 г. в собранном материале разно-

образие этой группы было в целом значительно выше, а самым высоким оказалось на влажном лугу в долине реки (полигон НН_24), в 14 км от промышленного объекта.

По числу видов пауков-волков и в 2022, и в 2023 г. лидировали одни и те же полигоны. В 2023 г. таксономическое разнообразие этой группы, как и линифиид, было выше.

Наиболее многочисленными линифииды были там же, где и наиболее разнообразны, независимо от года исследований.

Т а б л и ц а 4

**Параметры разнообразия таксоценов пауков-герпетобийонтов на полигонах
трансекты “Норильск” в 2022–2023 гг.**

Код полигона и расстояние от промышленного объекта, км	НН_15 (4,0)	НН_21 (5,7)	НН_17 (6,5)	НН_16 (7,0)	НН_27 (7,5)	НН_26 (7,8)	НН_22 (8,3)	НН_23 (9,4)	НН_18 (9,4)	НН_24 (14,0)	НН_19 (16,9)	НН_25 (18,0)	НФ_45 (18,0)	НН_20 (20,0)
Индекс доминирования	0,30	0,92	0,28	$\frac{0,39}{0,16}$	$\frac{0,14}{0,27}$	0,50	0,58	$\frac{0,21}{0,22}$	$\frac{0,23}{0,28}$	$\frac{0,23}{0,15}$	$\frac{0,54}{0,22}$	$\frac{0,39}{0,35}$	0,33	0,20
Индекс Симпсона	0,70	0,08	0,72	$\frac{0,61}{0,84}$	$\frac{0,86}{0,73}$	0,50	0,42	$\frac{0,79}{0,78}$	$\frac{0,77}{0,72}$	$\frac{0,77}{0,85}$	$\frac{0,46}{0,78}$	$\frac{0,61}{0,65}$	0,67	0,80
Индекс Шеннона	1,50	0,17	1,33	$\frac{1,01}{2,18}$	$\frac{2,13}{1,60}$	0,69	0,87	$\frac{1,69}{1,55}$	$\frac{1,75}{1,66}$	$\frac{1,75}{2,22}$	$\frac{0,93}{1,55}$	$\frac{1,11}{1,44}$	1,45	2,12
Вырав- ненность	0,75	0,59	0,95	$\frac{0,92}{0,68}$	$\frac{0,84}{0,38}$	1,00	0,48	$\frac{0,90}{0,94}$	$\frac{0,72}{0,28}$	$\frac{0,72}{0,51}$	$\frac{0,32}{0,94}$	$\frac{0,76}{0,33}$	0,42	0,42
Число видов Linyphiidae	1	0	0	$\frac{0}{7}$	$\frac{3}{3}$	0	4	$\frac{4}{3}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{0}{5}$	5	3
Число видов Lycosidae	4	2	3	$\frac{0}{3}$	$\frac{5}{7}$	1	1	$\frac{2}{2}$	$\frac{6}{10}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{5}$	4	10
Динамическая плотность Linyphiidae в 2022–2023 гг. (экз. на 100 ловушко- суток)	1,0			$\frac{0,0}{16,3}$	$\frac{3,0}{2,5}$		19,0	$\frac{30,0}{11,3}$	$\frac{0,0}{6,3}$	$\frac{5,0}{28,1}$	$\frac{4,0}{7,5}$	$\frac{0,0}{4,4}$	3,8	1,9
Динамическая плотность Lycosidae 2022– 2023 гг. (экз. на 100 ловушко- суток)	9,0	25,0	4,0	$\frac{0,0}{11,9}$	$\frac{17,0}{109,4}$	1,0	39,0	$\frac{13,0}{5,0}$	$\frac{26,0}{118,1}$	$\frac{19,0}{65,6}$	$\frac{126,0}{8,8}$	$\frac{20,0}{49,4}$	56,3	98,8
Соотношение динамической плотности Linyphiidae/ Lycosidae в 2022–2023 гг.	0,11	0,00	0,00	$\frac{0,00}{1,37}$	$\frac{0,18}{0,02}$	0,00	0,49	$\frac{2,31}{2,25}$	$\frac{0,00}{0,05}$	$\frac{0,26}{0,43}$	$\frac{0,03}{0,86}$	$\frac{0,00}{0,09}$	0,07	0,02

П р и м е ч а н и е. В числителе – данные 2022 г., в знаменателе – данные 2023 г.

В 2022 г. количество пауков-волков на полигонах НН_19 и НФ_45 в 17 и 18 км от завода кратно превосходило аналогичные показатели на других полигонах. Первый из полигонов располагался на склоне, второй представлял собой участок злаково-кустарничковой тундры. При проведении учетов в 2023 г. в более ранние фенологические сроки наиболее высокой динамическая плотность пауков-волков была на полигонах во влажных и заболоченных местообитаниях с более теплым микроклиматом, где их активность начинается раньше.

В 2022 и 2023 гг. соотношение числа особей Linyphiidae/Lycosidae оказалось самым

высоким на расстоянии около 10 км от завода в переувлажненной долине ручья на склоне, поросшем осокой и пушицей (полигон НН_23).

На рис. 3, в, г показаны значения числа видов и динамической плотности пауков для полигонов трансекты “Норильск” в 2022 и 2023 гг. В 2022 г. более высокой динамическая плотность в целом была на полигонах, расположенных более чем в 8,3 км от завода. Максимальное значение этого параметра получено для полигона НН_19, где были особенно многочисленны пауки-волки. В 2023 г. динамическая плотность достигла более высоких значений и на полигонах, расположенных далее 14 км от предприятия, и всюду была выше

60 экземпляров на 100 ловушко-суток. Какой-либо тенденции в изменении числа видов пауков по мере удаления от завода на трансекте “Норильск” ни в 2022, ни в 2023 г. установить невозможно.

Трансекта “Талнах”

В табл. 5 представлены параметры разнообразия на полигонах трансекты “Талнах” в 2022 и 2023 гг. в порядке удаления от завода. Самые высокие значения индекса доминирования (более 0,30) в 2022 г. получены для четырех полигонов, расположенных в начале, середине и в конце трансекты. На этих полигонах произрастали лиственничные и елово-березовые леса с густым подлеском (см. табл. 1), а расстояние от рудника “Комсомольский” варьировало от 2,7 до 12 км. В 2023 г. значения индекса доминирования были более низкими.

Сопоставимое с результатами предыдущего сезона значение получено только для полигона НТ_44, обусловленное, прежде всего, высокой долей *Alopecosa aculeata*. Следует заметить, что рудник как промышленный объект, безусловно, наносит меньший вред окружающим экосистемам, чем металлургический завод. В 2022 г. все индексы разнообразия имели самые высокие значения на полигонах НТ_28 и НТ_30, находящихся не далее чем в 3,5 км от предприятия. Значения индекса Симпсона на полигонах НТ_36 и НФ_38 мало уступали рассчитанным для двух упомянутых выше полигонов. Все перечисленные выше участки расположены в разных частях трансекты и представляют собой различные варианты редколесий (см. табл. 2). Лишь полигон НТ_28 был расположен в заболоченной тундре. В 2023 г. общая картина с индексами разнообразия никаких существенных отличий от

Т а б л и ц а 5

Параметры разнообразия таксонов пауков-герпетобий на полигонах трансекты “Талнах” в 2022–2023 гг.

Код полигона и расстояние от промышленного объекта, км	НТ_30 2,4	НТ_29 2,7	НТ_35 2,7	НТ_36 3,0	НТ_28 3,5	НТ_34 4,4	НТ_37 5,5	НТ_31 7,7	НТ_44 8,2	НТ_32 10,0	НФ_38 10,5	НТ_33 12,0	НФ_39 14,2
Индекс доминирования	$\frac{0,14}{0,14}$	$\frac{0,24}{0,19}$	0,36	0,17	$\frac{0,16}{0,14}$	0,29	$\frac{0,31}{0,20}$	0,36	0,30	0,22	$\frac{0,19}{0,11}$	0,31	0,22
Индекс Симпсона	$\frac{0,86}{0,86}$	$\frac{0,76}{0,81}$	0,64	0,83	$\frac{0,84}{0,86}$	0,71	$\frac{0,69}{0,80}$	0,64	0,70	0,78	$\frac{0,81}{0,89}$	0,69	0,78
Индекс Шеннона	$\frac{2,10}{2,34}$	$\frac{1,81}{2,03}$	1,30	1,91	$\frac{2,10}{2,33}$	1,64	$\frac{1,27}{2,12}$	1,06	1,52	1,79	$\frac{1,88}{2,53}$	1,47	1,81
Выравненность	$\frac{0,90}{0,57}$	$\frac{0,68}{0,45}$	0,73	0,84	$\frac{0,68}{0,47}$	0,64	$\frac{0,89}{0,52}$	0,96	0,51	0,75	$\frac{0,82}{0,59}$	0,73	0,61
Число видов Linyphiidae	$\frac{5}{8}$	$\frac{0}{5}$	4	4	$\frac{3}{5}$	1	$\frac{1}{9}$	0	2	1	$\frac{3}{12}$	3	0
Число видов Lycosidae	$\frac{1}{5}$	$\frac{5}{7}$	1	3	$\frac{5}{9}$	3	$\frac{1}{4}$	2	3	2	$\frac{4}{5}$	3	7
Динамическая плотность Linyphiidae в 2022–2023 гг. (экз. на 100 ловушко-суток)	$\frac{6,0}{22,5}$	7,5	10,0	8,0	$\frac{3,0}{5,6}$	1,0	$\frac{1,0}{14,4}$		3,1	1,0	$\frac{4,0}{20,0}$	2,0	
Динамическая плотность Lycosidae в 2022–2023 гг. (экз. на 100 ловушко-суток)	$\frac{1,0}{11,3}$	$\frac{13,0}{88,8}$	1,0	10,0	$\frac{33,0}{85,0}$	13,0	$\frac{4,0}{25,6}$	3,0	56,9	6,0	$\frac{7,0}{32,5}$	6,0	50,0
Соотношение динамической плотности Linyphiidae/Lycosidae в 2022–2023 гг. (экз. на 100 ловушко-суток)	$\frac{6,00}{2,00}$	$\frac{0,00}{0,08}$	10,00	0,73	$\frac{0,09}{0,07}$	0,08	$\frac{0,25}{0,56}$		0,05	0,17	$\frac{0,57}{0,62}$	0,33	

П р и м е ч а н и е. В числителе – данные 2022 г., в знаменателе – данные 2023 г.

результатов 2022 г. не имела. Полигоны с высокими значениями выравнинности видовой структуры пауков также располагались в разных частях трансекты и в 2022, и в 2023 гг.

В 2022 г. наибольшее число видов подстилочных тенетников-линифицид было собрано на ближайшем к руднику полигоне в листовничном редколесье с развитым кустарниковым ярусом. В 2023 г. этот параметр резко возрос на полигонах НТ_37 и НТ_38, где произрастали смешанные леса низкой сомкнутости. Все перечисленные полигоны располагались в разных частях трансекты. Динамическая плотность представителей этой группы в 2022 г. была низкой и не превышала 10 экземпляров на 100 ловушко-суток во влажном елово-березовом лесу, менее чем в 3 км от рудника. В 2023 г. этот параметр на всех повторно исследованных полигонах был выше, однако не превысил 22,5 экземпляра на 100 ловушко-суток (ближайший к руднику полигон). Близкие значения получены для полигона НФ_38, расположенного более чем в 10 км от промышленного объекта, где также произрастает молодой лес невысокой сомкнутости. Таксономическое разнообразие пауков-волков в 2022 г. оказалось самым высоким на наиболее удаленном полигоне в ерниковой лесотундре у границы березово-елового и торфяного болота. В 2023 г. работы на этом участке не проводились, и видовое разнообразие ликозид было самым высоким на ближайших к руднику полигонах. Динамическая плотность пауков-волков в 2022 г. не превышала 50 экземпляров на 100 ловушко-суток и была самой высокой в тундровых и лесотундровых местообитаниях (полигоны НФ_39 и НТ_28). В 2023 г. этот параметр был более высоким на всех полигонах, превысив значения в 80 экземпляров на 100 ловушко-суток в тундровых станциях, расположенных в пределах 3,5 км от рудника.

На рис. 3, д, е показаны значения числа видов и динамической плотности для полигонов трансекты “Талнах” в 2022 и 2023 гг. В 2022 г. оба параметра по мере удаления от рудника “Комсомольский” испытывали волнообразные колебания, несколько увеличиваясь в средней части диаграммы. Динамическая плотность оказалась самой высокой на самом удаленном от рудника полигоне, однако на полигоне НТ_28 в центральной части трансекты

этот параметр был ниже незначительно. Самым низким этот параметр оказался на ближайшем к руднику полигоне (НТ_30), для которого были характерны довольно высокие значения индексов разнообразия, а также таксономическое разнообразие и количество особей пауков-линифицид. Как и на других трансектах, динамическая плотность на трансекте “Талнах” в 2023 г. была значительно выше, чем в 2022 г. Число видов пауков на большинстве полигонов в 2023 г. отличалось незначительно и имело сравнительно низкое значение лишь на полигоне НТ_44, одном из наиболее удаленных от предприятия. Самые высокие значения динамической плотности получены для полигонов, заложенных в тундровых ландшафтах, где особенно многочисленны были пауки-волки.

Зависимость между расстоянием от источника загрязнения и параметрами сообществ пауков

Для оценки зависимости между параметрами разнообразия (см. табл. 3–5) и расстоянием от полигона до промышленного объекта рассчитывали коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (табл. 6). По данным 2022 г., высокая достоверная корреляция ($r > 0,8$) получена для таких параметров, как индексы разнообразия (для индекса доминирования отрицательная), число видов линифид, а также между динамической плотностью Linyphiidae и соотношением динамической плотности Linyphiidae и Lycosidae. В 2023 г. достоверная корреляция получена только между расстоянием от завода и динамической плотностью линифид и ликозид, однако она была очень высокой ($r > 0,9$). Определяли также коэффициент ранговой корреляции Спирмена между расстоянием от промышленного объекта и общим числом видов пауков и их динамической плотностью. Получена достоверная высокая корреляция только для линии полигонов на трансекте “Кайеркан” в 2022 г. с общим числом видов ($r > 0,8$) и заметная корреляция с динамической плотностью пауков на трансекте “Норильск” также в 2022 г. Для полигонов трансекты “Талнах” ни в 2022, ни в 2023 г. достоверной корреляции между расстоянием от предприятия и перечисленными выше параметрами не установлено.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между расстоянием от промышленного объекта до полигонов на трех исследованных трансектах по результатам исследований 2022 и 2023 гг.

	Трансекта					
	Кайеркан		Норильск		Талнах	
	r_s	p	r_s	p	r_s	p
Число видов	0,848 0,500	0,006 0,450	0,374 0,142	0,231 0,717	-0,141 -0,143	0,662 0,803
Индекс доминирования	-0,817 -0,100	0,011 0,867	-0,133 0,266	0,680 0,484	0,196 -0,029	0,541 1,000
Индекс Симпсона	0,817 0,100	0,011 0,950	0,133 -0,266	0,680 0,484	-0,196 0,029	0,541 0,960
Индекс Шеннона	0,833 0,600	0,007 0,350	0,161 -0,376	0,617 0,316	-0,294 0,029	0,355 0,960
Выравненность	0,217 -0,100	0,566 0,867	-0,294 -0,156	0,353 0,685	-0,224 0,371	0,484 0,497
Суммарная динамическая плотность	0,300 0,500	0,437 0,450	0,577 0,252	0,049 0,510	0,347 0,029	0,269 0,960
Число видов Linyphiidae	0,842 0,632	0,024 0,333	0,276 -0,200	0,386 0,599	-0,457 0,232	0,135 0,672
Число видов Lycosidae	-0,051 -0,051	0,902 1,000	0,253 0,233	0,428 0,541	0,358 0,464	0,253 0,394
Динамическая плотность Linyphiidae	0,842 0,800	0,024 0,133	0,422 -0,479	0,132 0,194	-0,449 -0,257	0,143 0,658
Динамическая плотность Lycosidae	-0,317 0,300	0,410 0,683	0,295 0,025	0,305 0,956	0,303 0,029	0,339 0,960
Соотношение динамической плотности Linyphiidae/ Lycosidae	0,822 0,975	0,028 0,033	0,196 -0,321	0,541 0,393	-0,360 -0,257	0,251 0,658

П р и м е ч а н и е. Полужирным шрифтом выделен уровень значимости <0,05 и достоверная корреляция.

Ординация полигонов по населению пауков с помощью неметрического шкалирования

Ординация полигонов трансекты “Кайеркан” методом неметрического многомерного шкалирования (NMDS) по данным 2022 г. (индекс Брэя – Кертиса) показана на рис. 4, а. В левом верхнем углу диаграммы расположились пять полигонов, расстояние которых от завода варьировалось в пределах от 8,5 до 24 км. Таким образом, их близость обусловлена не расстоянием до промышленного объекта. Все они представляют собой болота, заболоченные или пойменные местообитания (см. табл. 1). По-видимому, именно переувлажненность и обусловила их близость в поле диаграммы. Сравнительно недалеко от них и совсем близко относительно горизонтальной оси (ее вклад 52 %) находился полигон НК_9, представляющий собой луг с заболоченным участ-

ком. Близкое расположение полигонов НФ_40 и НФ_41 в правом верхнем углу диаграммы и их относительная удаленность от других, вероятно, связана с произрастанием на этих участках ерниковых зарослей. Наиболее обособленное положение занял полигон НК_12 – относительно сухой послепожарный возобновляющийся листовенничник на пологом склоне.

Построенная по данным 2023 г. для этой же трансекты диаграмма NMDS гораздо лучше отражает отношения между таксоценоми пауков на разных полигонах (стресс 0,0). Вклад первой оси 73 %, второй – 0 % (рис. 4, б). Луговые местообитания (полигоны НК_9, НК_11 и НК_8) выстроились перпендикулярно относительно горизонтальной оси почти в одну линию. Наибольшие различия данный вид анализа выявил между полигонами в заболоченной тундре (НК_10) и ерниковых зарослях (НФ_40). Различия в условиях жизни герпетобонтов на этих участках очевидны.

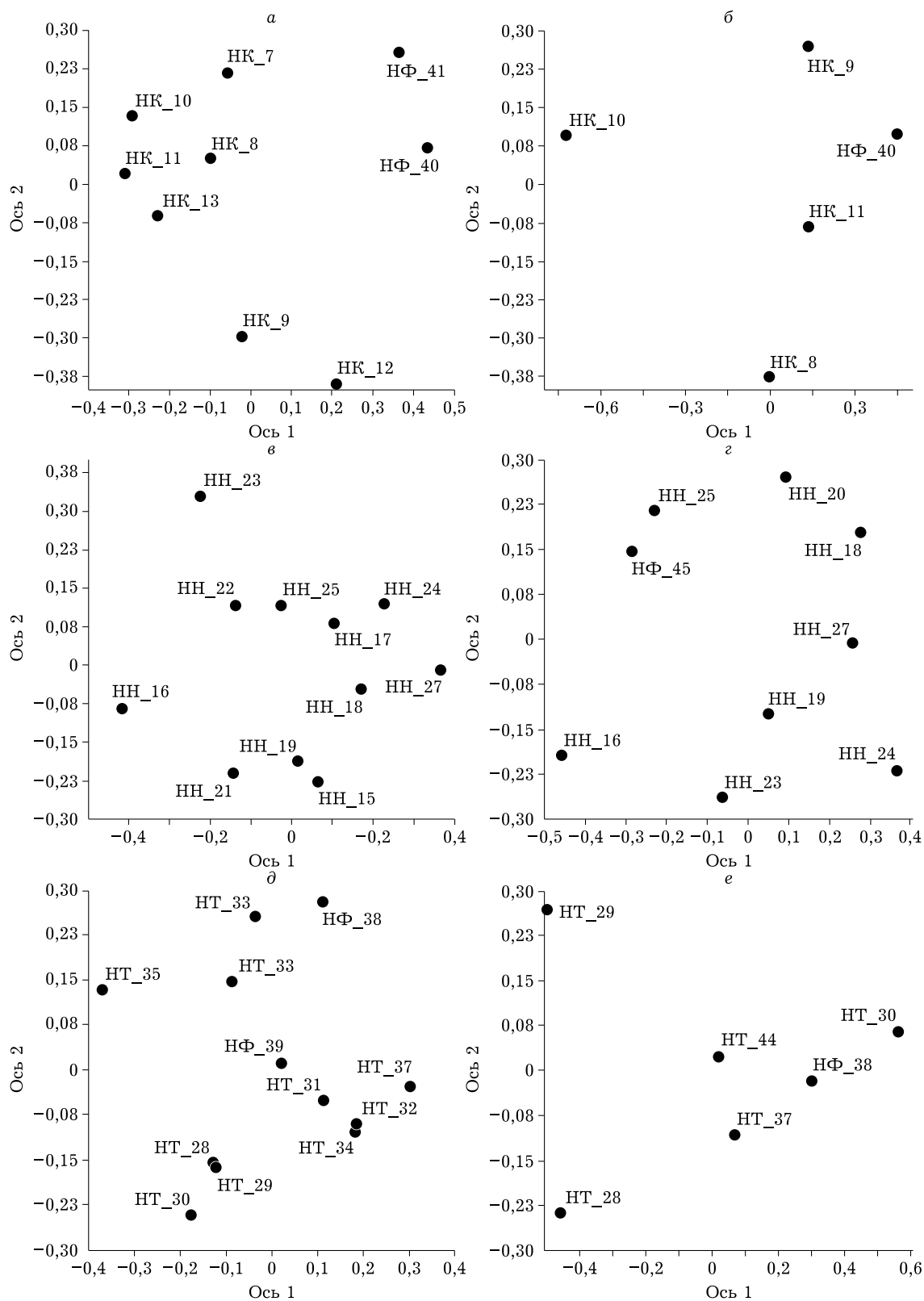


Рис. 4. Ординация полигонов методом неметрического многомерного шкалирования (NMDS) на полигонах трех исследованных трансект. а, б – по данным трансекты “Кайеркан” в 2022 и 2023 гг. соответственно; в, г – по данным трансекты “Норильск” в 2022 и 2023 гг. соответственно; д, е – по данным трансекты “Талнах” в 2022 и 2023 гг. соответственно

Ординация полигонов трансекты “Норильск” по данным 2022 г. методом неметрического многомерного шкалирования с использованием индекса Брея – Кертиса не позволила получить адекватную картину распределения полигонов в поле диаграммы. Более корректная ординация проведена по индексу Раупа – Крика (стресс 0,17). Результаты анализа полигонов трансекты “Норильск” по данным 2022 г. представлены на рис. 4, в. Вклад первой оси 34 %, второй – 19 %. Это говорит об отсутствии выраженного влияния какого-то дифференцирующего фактора или группы факторов на распределение точек в поле диаграммы. Следствием этого также является и отсутствие выраженных групп полигонов на диаграмме. Практически все полигоны трансекты Норильска расположены в заболоченных или влажных местообитаниях и лишены развитого древостоя (см. табл. 1). Поэтому полученная на диаграмме картина вполне закономерна. Можно лишь отметить очевидную удаленность полигонов НН_16 и НН_27 вдоль горизонтальной оси. Полигон НН_16 представляет собой луг с признаками сильного антропогенного воздействия (часть участков лишена растительности), в то время как на полигоне НН_27 формируется влажный ольхово-березовый лес.

На рис. 4, г представлена диаграмма NMDS для данных 2023 г. (стресс 0,25). Вклад первой оси составил 48 %, второй – 7 %. В левой части диаграммы находились полигоны, заложенные во влажных и заболоченных местообитаниях и расположенные на разных расстояниях от завода в зонах с разной степенью воздействия. Два наиболее близких полигона (НН_25 и НФ_45) представляют собой сходный тип местообитаний (тундра со злаковой растительностью) и расположены в непосредственной близости друг от друга на местности.

На рис. 4, д представлена диаграмма NMDS для полигонов трансекты “Талнах” по данным 2022 г., полученная на основании индекса Брея – Кертиса. Величина стресса составила 0,18. Вклад первой оси 26 %, второй – 26 %. Параметры полученной диаграммы указывают на отсутствие доминирующего влияния какого-то фактора или их группы, как естественного, так и антропогенного происхождения. В левой нижней части диаграммы можно видеть группу из четырех поли-

гонов, при этом положение полигонов НТ_32 и НТ_34 почти совпало. Вся эта группа включает полигоны, представляющие собой исключительно листовенничные ерниковые редколесья, которые объединились на диаграмме благодаря сходному воздействию множества факторов. Трудноразличимым оказалось и положение полигонов НТ_28 и НТ_29, занимающих сходное положение в ландшафте (см. рис. 1) и с тундровой растительностью на поверхности почвы (см. табл. 1).

Диаграмма с расположением полигонов трансекты “Талнах” по данным 2023 г. (мера сходства индекса Брея – Кертиса) представлена на рис. 4, е. С учетом величины стресса (0,0) и того факта, что первая ось отражает более 93 % дисперсии, полученная картина очень хорошо отражает сходство и различие между таксоценами разных полигонов. В левой части диаграммы можно видеть группу из четырех полигонов, представляющих собой участки лесотундры (НТ_44) и различные варианты разреженных лесов с участием листовенницы. Обособленно от них, но почти на одной линии относительно горизонтальной оси расположены два полигона с различными вариантами зональной тундры.

ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем начать обсуждение полученных результатов и оценивать индикационные свойства различных видов пауков-герпетобионтов, хотелось бы подчеркнуть, что в нашем исследовании предпринята попытка использовать эту группу в качестве “индикаторов активного мониторинга” для наблюдения за текущим состоянием окружающей среды [Бабенко, 2013]. Мониторинг предполагает долговременные наблюдения за состоянием системы, в которой происходят какие-либо изменения. Поэтому полученные результаты должны рассматриваться как начальный этап такого рода работ, по итогам которого в программу работ могут быть внесены необходимые изменения.

Работы по изучению влияния промышленного загрязнения на пауков проведены в разных регионах [Koronen, Niemelä, 1995; Koronen, Koneva, 2005; Koronen, 2011; Золотарев, Бельская, 2012; и др.]. Результаты исследований, выполненные финским арахнологом Сеп-

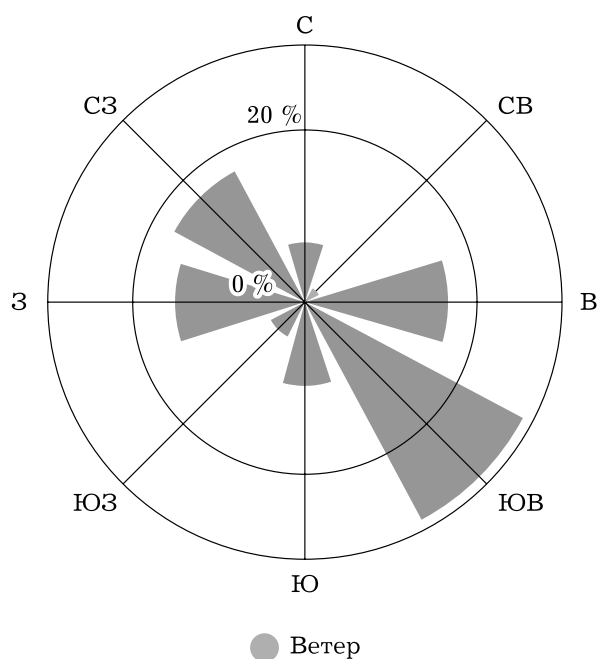
по Копоненом с соавторами, представляют для нас особый интерес, так как они также выполнены в северных широтах. В статье, опубликованной в 1995 г. [Koronen, Niemelä, 1995], представлены результаты учетов пауков-герпетобионтов почвенными ловушками на четырех участках, удаленных от предприятия на расстояние 0,5, 3,0, 5,0 и 9,0 км. Местообитания представляли собой сосновые леса с лишайниковым покровом и кустарничками семейства вересковых. Установлено, что заметные различия наблюдались в разнообразии и структуре таксоценов пауков на ближайшем к предприятию полигоне и всеми последующими на трансекте. Различий в динамической плотности пауков на участках вдоль градиента загрязнения выявлено не было (отметим, что в данном исследовании все полигоны были заложены за пределами санитарно-защитной зоны финского предприятия).

Проведенные нами исследования показали, что на полигонах в окрестностях г. Норильска таксоцены пауков отличаются большим таксономическим разнообразием и имеют типичную для северных широт таксономическую структуру [Осипов, 2003], в которой особенно велика роль мелких обитателей подстилки из семейства Linyphiidae. Другой важной таксономической группой в исследованных таксоценах были пауки-волки – средних и крупных размеров бродячие пауки, не имеющие в течение всего или большей части жизненного цикла убежищ и переносящие коконы с яйцами, а также вышедшую из них молодежь, на себе. Такие экологические особенности позволяют этим паукам быстро и активно перемещаться в поисках временных укрытий и благоприятных условий для жизни. Пауки-волки лидировали повсеместно в таксоценах исследованных полигонов по количеству особей, а пауки-линифииды – по числу видов. Сборы 2023 г. были проведены в более ранний фенологический период, когда активность большинства групп была очень высокой. В 2022 г. сборами охвачен другой период сезона активности, когда динамическая плотность, прежде всего пауков-волков, снизилась (см. табл. 1). Расчет большого количества общих параметров разнообразия и количественных характеристик важнейших групп показал, что только для двух из трех трансект полигонов в окрестностях Норильска удалось обнаружить досто-

верную корреляцию между характеристиками таксоценов и расстоянием от полигонов до промышленных объектов. Это может быть связано как с относительно низкой чувствительностью данной группы к негативному воздействию на исследованной территории, так и с достаточной удаленностью полигонов от ближайших крупных промышленных объектов: минимальное расстояние на разных трансектах составило от 2,4 до 8,5 км. Возможно эффект был бы более существенным при закладке полигонов ближе к промышленным объектам. Однако этот вопрос требует проведения дополнительных исследований.

В табл. 6 представлены результаты расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена между параметрами разнообразия и расстоянием от промышленного объекта до исследованных полигонов. Достоверная положительная корреляция с расстоянием до ближайшего крупного промышленного объекта установлена для семи характеристик таксоценов трансекты “Кайеркан” по данным 2022 г., с соотношением числа особей пауков-линифиид и пауков-ликозид для данных 2023 г., а также с суммарной динамической плотностью пауков на трансекте “Норильск” по данным 2022 г. Для трансекты “Кайеркан” корреляция во всех случаях оценена как высокая, для трансекты “Норильск” – как заметная (шкала Чеддока). По-видимому, географическое положение полигонов трансекты “Кайеркан” с учетом розы ветров (рис. 5) и обуславливает суммарное и потому более выраженное воздействие на них загрязняющих веществ, выбрасываемых крупными предприятиями Норильска (например, Надеждинским металлургическим заводом, Медным заводом и др.). Общее таксономическое разнообразие пауков на трансекте “Кайеркан” оказалось самым низким, что может также говорить о более сильном воздействии предприятий на таксоцены пауков этой трансекты. Следует учитывать и тот факт, что ближайший полигон трансекты “Кайеркан” был на расстоянии 8,5 км от наиболее близкого промышленного объекта. На трансекте “Норильск” аналогичное расстояние составило 4 км, а на трансекте “Талнах” – 2,7 км.

Ординация полигонов в соответствии с их вариантами населения пауков методом неметрического многомерного шкалирования



С ▼	СВ ▲	В ◀	ЮВ ▼
7 %	1,6 %	16,5 %	28,4 %
Ю ▲	ЮЗ ◀	З ▶	СЗ ▲
9,6 %	4,7 %	15 %	15,3 %

Рис. 5. Роза ветров в окрестностях Норильска

(NMDS) по индексу Брэя – Кертиса в разные годы и для разных трансект показала, что диаграммы, построенные по данным 2022 г. (1–2-я декада июля) не позволяют выявить сколько-нибудь выраженное влияние какого-либо фактора или группы факторов на распределение полигонов. Вклад первой оси всюду был невысоким. При построении диаграммы по данным 2023 г. (3-я декада июня – 1-я декада июля) картина резко изменилась. Вклад первой оси для всех трех диаграмм значительно вырос, а для трансекты “Талнах” даже превысил 90 %. Полигоны этой трансекты располагались в наиболее неоднородных ландшафтных условиях. Очевидно, что проявилось действие сильных факторов (или фактора), определяющее пространственное распределение точек-полигонов, хотя и не имеющее отношение к расстоянию полигонов от промышленного объекта. Учитывая разницу в сроках проведения работ, есть основания полагать, что распределение полигонов вдоль первой оси в 2023 г. может быть связано с фенологическими особенностями этих сроков. Работы проведены в период, когда растительность еще

не везде полностью сформировалась (не развился травостой и листовый покров) и на разных полигонах, учитывая их различное положение в ландшафте, сроки наступления фенофаз могли существенно различаться, что влияло на общие условия в местообитаниях. Неравномерным был и их прогрев. Безусловно, имела место и разница в сроках наступления определенных фаз жизненного цикла у одних и тех же видов пауков в разных местообитаниях, что не могло не отразиться на структуре их таксоценов. В дальнейшем, с повышением температуры и наступлением фенологического лета, различия между местообитаниями несколько нивелировались. Поэтому данные, полученные в 2022 г. в более поздний период, не давали заметной дифференциации полигонов. Отметим также, что по данным электронного ресурса погоды [<https://world-weather.ru>] средняя температура воздуха в июне 2023 г. составила 8,5 °С, а в 2022 г. это показатель был на уровне 15,6 °С. Кроме того, май и июнь 2023 г. были самыми холодными за предшествующие три года, а апрель 2023 г. – за предшествующие 10 лет.

Таким образом, результаты изучения таксоценов пауков-герпетобионтов в НПП показали отсутствие в большинстве случаев выраженных изменений каких-либо рассчитанных или оцениваемых методами непрямой ординации характеристик вдоль предполагаемого градиента загрязнения на исследованных трансектах. Для трансекты “Кайеркан” получена значимая положительная корреляция ряда характеристик разнообразия с удаленностью от ближайшего завода для данных 2022 г. (шесть параметров) и 2023 г. (один параметр). На этой трансекте не было выявлено корреляции между удаленностью от завода и динамической плотностью пауков, что согласуется с результатами финских коллег, работавших в окрестностях другого крупного промышленного объекта – на юго-западе Финляндии [Koronen, Niemelä, 1995]. В то же время заметная корреляция наблюдалась в 2022 г. между суммарной динамической плотностью пауков и расстоянием до предприятия на трансекте “Норильск”. На трансекте полигонов Кайеркана и в 2022, и в 2023 г. нами были выявлены различия в структуре таксоценов по мере удаления от промышленного объекта. Важно отметить, что в Финляндии ближайший к за-

воду полигон находился на расстоянии 0,5 км от него [Koronen, Niemelä, 1995], а на линии Кайеркана – в 8,5 км от предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных исследований установлено, что из трех исследованных трансект негативная динамика некоторых параметров разнообразия по мере приближения к промышленному объекту выявлена в основном на трансекте “Кайеркан”, положение которой в большей степени соответствует розе ветров в НПП. Полученный результат может быть связан с наложением выбросов сразу от двух предприятий – Медного завода и Надеждинского металлургического завода, а также объектов коммунального хозяйства Норильска. Несмотря на то что ближайший к промышленному объекту полигон находился значительно дальше, чем на двух других трансектах, таксономическое разнообразие пауков здесь оказалось самым низким. Таким образом, пауков можно рассматривать как одну из групп, обладающую индикационными свойствами при изучении последствий антропогенного воздействия на природные территории. Как и ранее проведенные исследования российских и зарубежных коллег [Jung et al., 2008; Золотарев, Бельская, 2012], наша работа стала еще одним подтверждением перспективности использования данной группы. В то же время непрямая ординация методом неметрического многомерного шкалирования показала дифференциацию полигонов на всех трансектах, отражающую различия, скорее, связанные с особенностями биотопов, где были заложены полигоны. Нельзя забывать, что пауки очень хорошо реагируют на изменения в пространственной организации местообитаний: гибель или уничтожение эдификаторных видов растений, образование или разрушение отдельных ярусов растительности, изменение или уничтожение напочвенного слоя растительных остатков, нарушение почвенного покрова и т. д. Столь же хорошо проявляются различия в составе и структуре таксоценов в биотопах с выраженными различиями в условиях, независимо от того, есть влияние антропогенных факторов или нет [Uetz, 1991; Jung et al., 2008]. Это требует дополнительных усилий по минимизации межбиотопиче-

ских различий и выбору участков, сходных по условиям жизни пауков. При закладке полигонов необходимо использовать участки с максимально единообразными биотопическими условиями, что позволит минимизировать влияние различий в структуре местообитаний и их положения в рельефе на дифференциацию полигонов при статистическом анализе.

Другим крайне важным моментом при работе с пауками как индикаторной группой является учет фенологических особенностей группы и жизненных циклов представленных в районе исследований видов. Как показал анализ NMDS, результаты ординации могут сильно отличаться при анализе данных, полученных в разные фенологические сроки и разные годы, когда имеют место и флуктуации основных климатических характеристик. Для получения более полной картины необходимы результаты учетов в разные отрезки сезона активности пауков с минимальными межгодовыми флуктуациями основных климатических параметров – температуры воздуха и количества осадков, как наиболее сильно влияющих на активность пауков. Кроме того, учитывая результаты, полученные финскими коллегами [Koronen, Niemelä, 1995], а также наши данные для трансект “Норильск” и “Талнах”, есть основания полагать, что наиболее высокая чувствительность и ответная реакция (изменение численности, структуры сообщества и т. п.) у пауков проявляются только в зоне интенсивного воздействия, т. е. в непосредственной близости от промышленных объектов/групп объектов. Это также следует учитывать при использовании данной группы в качестве индикатора.

Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам ИСиЭЖ СО РАН, принимавшим участие в сборе материала: Ф. Л. Абрашиту, О. Г. Булзу, А. А. Гуриной, Р. Ю. Дудко, И. К. Яковлеву.

Вклад авторов

Л. А. Триликаускас – планирование исследования, определение пауков, статистическая обработка данных, написание основного текста статьи; И. И. Любечанский – планирование исследования, сбор материала, обсуждение рукописи; Г. Н. Азаркина – сбор материала, определение пауков, обсуждение рукописи.

Финансирование

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственной академии наук на 2021–2025 гг. (проект № FWGS-2021-0002 – Л. А. Триликаускас, И. И. Любечанский, FWGS-2021-0004 – Г. Н. Азаркина), а также ПАО “ГМК “Норильский никель”.

Соблюдение этических стандартов

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных, соответствующих критериям Директивы 2010/63/EU.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабенко А. С. Почвенные беспозвоночные как индикаторы состояния территорий // Геохимия живого вещества: материалы Междунар. молод. шк.-семинара (Томск, 2–5 июня 2013 г.); Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. С. 40–42.
- Вараксин Г. С., Кузнецова Г. В. Оценка растительного покрова в зонах техногенного воздействия окрестностей Норильска // Сиб. экол. журн. 2008. Т. 15, № 4. С. 655–659. [Varaksin G. S., Kuznetsova G. V. Assessment of Ground Vegetation in the Zones under Technogenic Impact in the Suburbs of Norilsk City // Contemporary Problems of Ecology. 2008. Vol. 1, N 4. P. 655–659. (In Russ.)]
- Гонгальский К. Б., Филимонова Ж. В., Покаржевский А. Д., Бутовский Р. О. Различия реакции герпетобионтов и геобионтов на воздействие Косогорского металлургического комбината (Тюльская обл.) // Экология. 2007. № 1. С. 55–60.
- Золотарев М. П., Бельская Е. А. Влияние техногенных и природных факторов на обилие беспозвоночных герпетобионтов // Евразият. энтомол. журн. 2012. Т. 11, № 1. С. 19–28.
- Колесникова А. А., Таскаева А. А. Почвенные беспозвоночные животные как возможные индикаторы изменений окружающей среды // Вестн. Ин-та биологии. 2005. № 3. С. 29–34.
- Любечанский И. И., Азаркина Г. Н. Экологическая структура сообщества пауков (Arachnida, Araneae) в лесостепи юга Западной Сибири и ее сравнение со структурой населения жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) // Сиб. экол. журн. 2017. Т. 24, № 2. С. 193–209. [Lyubechanskii I. I., Azarkina G. N. Ecological structure of West Siberian Forest-Steppe Spider Community (Arachnida, Araneae) and its comparison with carabidae community // Contemporary Problems of Ecology. 2017. Vol. 10, N 2. P. 164–177. (In Russ.)]
- Осипов Д. В. Фауна пауков (Aranei) южной тундры Западного Таймыра // Зоол. журн. 2003. Т. 82, № 10. С. 1266–1270.
- Танасевич А. В., Рыбалов Л. Б., Камаев И. О. Динамика почвенной мезофауны в зоне техногенного воздействия // Лесоведение. 2009. № 6. С. 63–72.
- Телятников М. Ю., Пристяжнюк С. А. Антропогенное влияние предприятий Норильского промышленного района на растительный покров тундры и лесотундры // Сиб. экол. журн. 2014. Т. 21, № 6. С. 903–922. [Telyatnikov M. Yu., Prist'yazhnyuk S. A. Anthropogenic Influence of Norilsk Industrial Plants on the Vegetation Cover of the Tundra and Forest Tundra // Contemporary Problems of Ecology. 2014. Vol. 7, N 6. P. 654–668. (In Russ.)].
- Юркевич Н. В., Ельцов И. Н., Гуреев В. Н., Мазов Н. А., Юркевич Н. В., Еделев А. В. Техногенное воздействие на окружающую среду в российской Арктике на примере Норильского промышленного района // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 12. С. 230–249. doi: 10.18799/24131830/2021/12/3207
- Alaruikka D., Kotze D. J., Matveinen K., Niemela J. Carabid beetle and spider assemblages along a forest urban-rural gradient in southern Finland // J. Insect Conservat. 2002. Vol. 6, N 4. P. 195–206.
- Cole L. J., McCracken D. I., Downie I. S., Dennis P., Foster G. N., Waterhouse T., Murphy K. J., Griffin A. L., Kennedy M. P. Comparing effects of farming practices on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) and spider (Araneae) assemblages of Scottish farmland // Biodiver. and Conservat. 2005. Vol. 14, N 2. P. 441–460.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4, N 1. P. 9.
- https://spravochnik.ru/geografiya/prirodno-klimaticheskie_usloviya/klimaticheskie_usloviya_norilsk/ 25.11.20243
- <https://world-weather.ru/archive/russia/norilsk/#t2> 25.11.2024
- <https://www.norilsk.pf/city/index.php> 25.11.2024
- Jung M.-P., Kim S.-T., Kim H., Lee J.-H. Biodiversity and community structure of ground-dwelling spiders in four different field margin types of agricultural landscapes in Korea // Appl. Soil Ecol. 2008. Vol. 38. P. 185–195.
- Koponen S. Ground-living spiders (Araneae) at polluted sites in the Subarctic // Arachnologische Mitteilungen. 2011. Bd. 40. S. 80–84.
- Koponen S., Koneva G. G. Spiders along a pollution gradient (Araneae) // European Arachnology 2005 (Deltshiev, C. & Stoev, P., eds). Acta Zool. Bulgarica. 2005. Suppl. N 1. P. 131–136.
- Koponen S., Niemelä P. Ground-living arthropods along pollution gradient in boreal pine forest // Entomologica Fennica. 1995. Vol. 6. P. 127–131.
- Uetz G. W. Habitat structure and spider foraging // Habitat structure / Eds. S. S. Bell, E. D. McCoy, H. R. Mushinsky. London: Chapman and Hall, 1991. P. 325–348.
- Yakovlev A. S., Plekhanova I. O., Kudryashov S. V., Aimaletdinov R. A. Assessment and regulation of the ecological state of soils in the impact zone of mining and metallurgical enterprises of Norilsk Nickel Company // Eur. Soil Sci. 2008. Vol. 41, N 6. P. 648–659.

Soil-dwelling spiders (Arachnida: Aranei) as indicators of anthropogenic impact in the Norilsk industrial region: a case study

L. A. TRILIKAUSKAS^{*}, I. I. LYUBECHANSKII^{1, 2}, G. N. AZARKINA¹

¹*Institute of Systematics and Ecology of Animals of SB RAS
11, Frunze st., Novosibirsk, 630091, Russia
E-mail: laimont@mail.ru

²*Novosibirsk State University, Faculty of Natural Sciences
2, Pirogova st., Novosibirsk, 630090, Russia*

The possibility and prospects of using spiders (Arachnida: Aranei) as a bioindicator of the degree of anthropogenic impact in the Norilsk industrial region was investigated. Soil-dwelling spiders were collected using pitfall traps at the sites of three transects: Kayerkan, Norilsk and Talnakh, located in the vicinity of the city of Norilsk at different distances from large industrial facilities. A total of 119 spider species were found. The richest in species were the sites of the Norilsk transect, where 71 species were collected. A significant Spearman rank correlation between the distance from the industrial facility and the diversity parameters of taxocenes was noted mainly for the sites of the Kayerkan transect in 2022 and 2023. The direction of this transect largely corresponded to the prevailing wind direction in the Norilsk region. The taxonomic diversity of spiders on this transect is also the lowest. The total number of species, diversity indices, as well as the number of species and individuals of Linyphiidae spiders and the ratio between the number of Linyphiidae and wolf spiders (Lycosidae) individuals were positively correlated with the distance from the plant. In 2023, only the last parameter significantly depended on the distance. For the Norilsk transect, the correlation of the dynamic density of spiders with the distance from the plant was statistically significant only in 2022. Ordination by the method of non-metric multidimensional scaling for the sites of the three studied transects in different years showed that the differentiation of the sites, firstly, corresponded well to the habitat differences of the study sites on all transects; secondly, the study sites were better differentiated before the onset of phenological summer and the associated increase in temperatures and the complete formation of different vegetation layers. It has been established that soil-dwelling spiders can be used as indicators of negative impact, while it is extremely important to conduct research in similar habitat conditions, minimizing their differences as much as possible. When analyzing, it is imperative to take into account the features of seasonal dynamics and the impact of interannual fluctuations in climatic factors.

Key words: Norilsk industrial region, soil-dwelling spiders, diversity parameters, ordination, Spearman's rank correlation. indicator properties.