

УДК 616.981.45(519.25)

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИНДЕКСЫ ОБИЛИЯ И ДОМИНИРОВАНИЯ БЛОХИ ДЛИННОХВОСТОГО СУСЛИКА *CITELLOPHILUS TESQUORUM ALTAICUS* (IOFF, 1936) В ДОЛИНЕ РЕКИ КАРГЫ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ ТУВА)

© 2016 Е.Ч. Хомушку¹, А.Ф. Чульдум^{1,2}, Н.Ф. Галацевич³¹Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл²Тувинский государственный университет, г. Кызыл³Тувинская противочумная станция» Роспотребнадзора, г. Кызыл

Статья поступила в редакцию 25.05.2016

Изучено влияние климатических факторов (средних значений по сезонам температуры воздуха и количества осадков) на индекс обилия и доминирования блохи *Citellophilus tesquorum altaicus* (Ioff, 1936) на длиннохвостом суслике в долине р. Каргы с 1967-2013 гг. Построены множественные регрессионные модели зависимостей индексов обилия и доминирования этого вида от климатических факторов.

Ключевые слова: *Citellophilus tesquorum*, климат, регрессия, моделирование

В 1964 г. в Туве был открыт природный очаг чумы [1], активность которого сохраняется. Основным носителем чумы является длиннохвостый суслик, а основным переносчиком и хранителем – блоха *Citellophilus tesquorum altaicus* (Ioff, 1936) [2]. С тех пор в нашей республике актуальна проблема эпизоотий чумы, почти ежегодно возникающих в Монгун-Тайгинском и Овюрском районах (юго-западная Тува). Рассматриваемый очаг, вероятно, является северной частью единого природного очага чумы, южная часть которого расположена на территории Монголии [1, 3]. Исследуемый очаг представляет непосредственную угрозу населению, проживающему на его территории [4]. Одной из важнейших мер по предотвращению возможных эпидемий чумы является мониторинг за эпизоотийной территорией, проводимый силами Тувинской противочумной станции. В целях совершенствования мониторинга применяются методы математической статистики [5] и геоинформационного картографирования для анализа хода эпизоотического процесса [6], а также пространственной динамики эпизоотий чумы.

В долине р. Каргы, на территории одного из наиболее изученных мезоочагов Тувинского очага чумы – Каргинский участок очаговости, который характеризуется одним ярко выраженным пиком сезонной активности [7]. В предыдущих работах рассматривалась сезонная активность Каргинского мезоочага и была выбрана методика подсчета количества результативных дней [8]. Установлены оптимальные (в смысле наиболее высокого по вероятности процента охвата эпизоотии) календарные даты поиска чумы при заранее известной продолжительности обследования для всех временных отрезков сезона. В результате проведенного статистического анализа многолетних данных определены даты начала и конца эпизоотологического обследования, которые обеспечивают наиболее высокий по вероятности процент охвата эпизоотии Каргинского мезоочага. Заблаговременно зная объемы выделяемых денежных средств, (а именно этот фактор

определяет продолжительность обследования), руководство противочумной станции может наиболее точно планировать даты начала и окончания работы эпизоотии.

В районе работ по мониторингу за эпизоотийной территорией, массовым высокоспецифичным паразитом длиннохвостого суслика является *C. tesquorum*. Анализ влияния основных климатических факторов на динамику численности этого вида в разных частях микробиотопы её прокормителя на Каргинском участке очаговости рассмотрен ранее в публикации [9]. Максимальная численность регистрируется в зоне горных степей [10, 11]. Как свидетельствуют данные наблюдений, численность *C. tesquorum* на территории Каргинского участка очаговости Тувинского природного очага чумы за полвека исследований претерпевала значительные изменения [1, 12, 14-18]. Отмечена высокая степень положительной связи динамики численности этих блох с динамикой среднегодовой температуры воздуха и средней температуры за апрель-сентябрь (наиболее тесная связь – с температурой в июле). В меньшей мере выражена связь с температурой за холодный период года, предшествующий сезону [15]. На численность блох *C. tesquorum* и их индексы обилия и доминирования, а также на численность длиннохвостого суслика влияют много различных биотических и абиотических факторов [15], особое значение имеют и антропогенные факторы. [19]. В конце 60-х годов прошлого столетия в местах очагов на территориях популяции суслика проводились масштабные дезинсекционные и дератизационные работы, также охвачен был и Каргинский участок очаговости. В результате произошло значительное снижение численности сусликов и его блох в 70-80 гг.

Цель исследования: построение множественной регрессионной модели зависимостей ИО и ИД *C. tesquorum* от некоторых климатических факторов, определение влияния каждого из них, и совокупного воздействия на индексы обилия и доминирования *C. tesquorum*.

В настоящей работе исследуется зависимость временных рядов индексов обилия (ИО) и доминирования (ИД) *C. tesquorum* на длиннохвостом суслике в Каргинском участке очаговости – за период 1967-2013 гг. от климатических факторов (средних сезонных

Хомушку Елена Чанзан-ооловна, инженер. E-mail: aluana24@mail.ru

Чульдум Анатолий Федорович, научный сотрудник. E-mail: tajkinol@gmail.com

Галацевич Нина Феликсовна, зоолог

значений температуры воздуха и количества осадков). Построены множественные регрессионные модели зависимостей индексов обилия и доминирования *C. tesquorum* от средних сезонных значений температуры воздуха и количества осадков по данным ГМС Мугур-Аксы.

Материалы и методы. Проанализированы данные из отчётных материалов полевых формирований Тувинской противочумной станции за 1966-2013 гг.: средние сезонные ИО и ИД блохи *C. tesquorum* на

длиннохвостом суслике в долине р. Каргы. Материалы по климатическим условиям были представлены среднемесячным количеством осадков с 1966 г. по 2013 г. и значением среднемесячных температур воздуха с 1966 по 2013 г., зафиксированных в пос. Мугур-Аксы сотрудниками метеорологической службы [13] которые далее нами были усреднены для исследования по сезонам года: зима, весна, лето, осень (табл. 1). В табл. 2 представлено описание исследуемых климатических факторов.

Таблица 1. ИО и ИД блохи *C. tesquorum* на длиннохвостом суслике в долине р. Каргы в 1967-2013 гг. и климатические параметры (средние значения по сезонам температуры воздуха и количества осадков с 1966 по 2013 г.)

Годы	ИО на зверьках	ИД на зверьках	Тз, °С	Тв, °С	Тл, °С	То, °С	Оз, мм	Ов, мм	Ол, мм	Оо, мм
1967	3,46	58,60	-22,00	-0,33	10,73	-1,57	2,33	9,43	39,10	9,33
1968	1,87	67,21	-22,90	-1,70	12,20	-4,13	1,47	8,57	41,60	5,00
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2012	3,63	76,73	-21,77	-0,27	14,40	-2,40	0,00	1,30	45,53	2,37
2013	2,59	69,52	-18,83	0,97	12,70	-2,10	1,97	9,73	29,83	6,40

Таблица 2. Исследуемые климатические факторы

Обозначение	Климатические факторы
Тз	средние значения температуры зимних месяцев, т.е. за декабрь предыдущего года и январь, февраль текущего года
Тв	средние значения температуры весенних месяцев (март, апрель, май) текущего года
Тл	средние значения температуры летних месяцев (июнь, июль, август) текущего года
То	средние значения температуры осенних месяцев за предыдущий год (сентябрь, октябрь, ноябрь)
Оз	среднее количество осадков выпавших за период зимних месяцев, т.е. за декабрь предыдущего года и январь, февраль текущего года
Ов	среднее количество осадков выпавших за период весенних месяцев текущего года
Ол	среднее количество осадков выпавших за период летних месяцев текущего года
Оо	среднее количество осадков выпавших за период осенних месяцев за предыдущий год

При изучении явления, определяющегося многими одновременно и совокупно действующими факторами, возникает задача исследования зависимости одной зависимой переменной Y от нескольких объясняющих переменных $X_1, X_2, \dots, X_n$, для решения которой, в данном случае, был применён метод пошаговой регрессии. Для описания временного ряда индекса обилия и доминирования *C. tesquorum* были построены линейные и квадратичные модели множественной регрессии, с дополнительными факторами – средними значениями по сезонам года температуры воздуха и количества осадков. Для построения регрессионной модели методом пошаговой регрессии была использована функция STEPWISE в составе программного продукта MATLAB. На каждом шаге признаки проверяются на возможность добавления признаков в модель или удаления из модели, основываясь на F-статистике.

Регрессионные модели ИО *C. tesquorum* на длиннохвостом суслике. Для анализа влияния климатических факторов на ИО *C. tesquorum* были построены для сравнения линейные и квадратичные модели множественной регрессии ИО блохи на суслике во всех комбинациях для средних значений температуры воздуха и количества осадков по сезонам года. Были отобраны наилучшие линейная и квадратичная модели ИО *C. tesquorum*, полученные методом пошаговой регрессии, которые представлены на рис. 1.

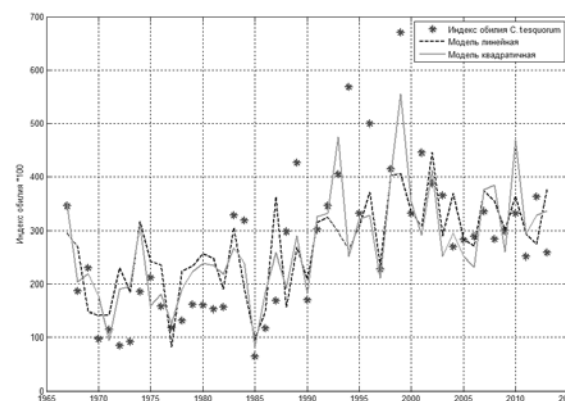


Рис. 1. Графики ИО *C. tesquorum* на длиннохвостом суслике в долине р. Каргы с 1967–2013 гг., линейная и квадратичная модели множественной регрессии

Представленная на графике линейная модель множественной регрессии с максимальным значением критерия R^2 – коэффициентом детерминации, описывается следующим уравнением:

$$Y(t) = -354,91 + 46,74 * O_z + 29,45 * O_v + 20,53 * O_o + \varepsilon; \quad (1)$$

где Y – индекс обилия *C. tesquorum*, умноженный на 100; ε – случайные ошибки наблюдений;

$$R^2 = 0,408; R^2 adj = 0,367;$$

$$P = 4,38 * 10^{-5}; F = 9,89$$

Квадратичная модель множественной регрессии с максимальным значением критерия R^2 – коэффициента детерминации, описывается следующего вида уравнением:

$$Y(t) = -301,19 + 7,58 * T_o * O_v + 2,91 * T_l^2 + ; \quad (2)$$

$$+ 1,71 * O_v * O_o + 0,75 * O_v * O_l + \varepsilon$$

$$R^2 = 0,5499; R^2 adj = 0,507;$$

$$P = 6,5 * 10^{-7}; F = 12,83$$

В качестве независимых переменных для квадратичной модели кроме линейных членов рассматривались попарно произведения исходных восьми параметров, а также их квадраты. Метод STEPWISE затем отбирал лучшие переменные по их значимости. Квадратичная модель более подробно дает описание зависимости индекса обилия, чем модель линейная коэффициент детерминации R^2 для квадратичной модели выше, чем для модели линейной.

Регрессионные модели ИД *C. tesquorum*. При описании ИД было предварительно проведено трехкратное линейное сглаживание временного ряда для устранения сильной вариации временного ряда. Далее методом пошаговой регрессии также были получены наилучшие линейная и квадратичная модели. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

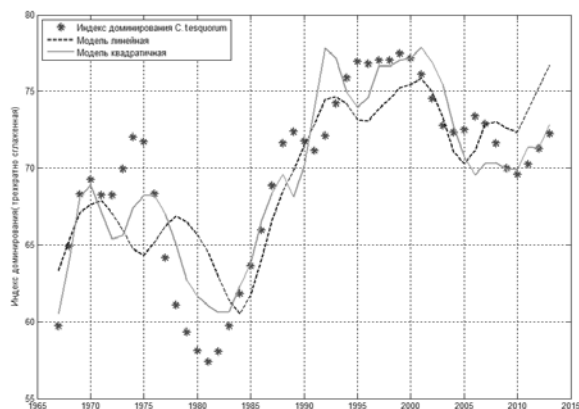


Рис. 2. Графики ИД *C. tesquorum* на длиннохвостом суслике в долине р. Каргы с 1967–2013 гг. и построенные линейные и квадратичные модели множественной регрессии

Уравнение с наилучшей (в смысле максимального значения коэффициента детерминации) линейной модели множественной регрессии имеет следующий вид:

$$Y(t) = -11,88 + 5,83 * T_l - \quad (3)$$

$$- 0,85 * O_o + 0,43 * O_l + \varepsilon;$$

$$R^2 = 0,64; R^2 adj = 0,61;$$

$$P = 1,22 * 10^{-9}; F = 25,5$$

Для квадратичной модели:

$$Y(t) = -55,31 + 8,59 * T_l + 2,08 * T_v^2 +$$

$$+ 0,71 * O_v * O_o - 0,33 * O_v * O_l -$$

$$- 0,01 * T_v * O_l + \varepsilon; (4)$$

$$R^2 = 0,82; R^2 adj = 0,80;$$

$$P = 1,73 * 10^{-14}; F = 38,69$$

Для ИД линейная модель включает всего три параметра, в число которых входят данные о количестве средних сезонных значений температуры воздуха лета, осадков осени предыдущего года и летних осадков текущего года. Квадратичная модель имеет восемь параметров, в которую включены данные средних сезонных значений температуры воздуха лета и весны текущего года, зимы (декабрь предыдущего года и январь, февраль текущего года), осадков за период зимних месяцев, осадков весны текущего года, осадков осени предыдущего года, и осадков лета текущего года.

Выводы и рекомендации: были проанализированы и построены модели множественной регрессии для описания зависимости ИО и ИД блохи *C. tesquorum* на длиннохвостом суслике в долине р. Каргы в 1967–2013 гг. с использованием метода STEPWISE regression (пошаговой регрессии) от климатических факторов. Данный анализ позволил определить, какой из сезонов года по средним значениям температуры воздуха или количества осадков более всего влияет на ИО *C. tesquorum* на длиннохвостом суслике.

Наиболее значимыми для вариации ИО являются: T_o – средние значения температуры осенних месяцев за предыдущий год, T_l – средние значения температуры летних месяцев, O_v – среднее количество осадков выпавших за период весенних месяцев, O_z – среднее количество осадков выпавших за период зимних месяцев, т.е. за декабрь предыдущего года и январь, февраль текущего года, O_o – среднее количество осадков выпавших за период осенних месяцев за предыдущий год.

Для ИД наиболее значимыми для вариации являются: T_l – средние значения температуры летних месяцев, T_v – средние значения температуры весенних месяцев, O_o – среднее количество осадков выпавших за период осенних месяцев за предыдущий год, O_z – среднее количество осадков выпавших за период зимних месяцев, т.е. за декабрь предыдущего года и январь, февраль текущего года, O_v – среднее количество осадков выпавших за период весенних месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Летов, Г.С. Хархира-Монгунтайгинский участок Алтайского очага чумы // Пробл. особо опасных инфекций. 1969. Вып. 2. С. 37–45.
2. Базанова, Л.П. Взаимоотношения чумного микроба (*Yersinia pestis*) и блох (*Siphonaptera*) (на примере сибирских природных очагов чумы): автореф. дис. ...д.б.н. – Улан-Удэ, 2009. 47 с.
3. Равдоникас, И.О. К истории становления очага чумы Каргинской котловины. Докл. Иркут. противочумн. ин-та. – Чита; 1974. Вып. 10. С. 54–56.
4. Природные очаги чумы Кавказа, Прикаспия, Средней Азии и Сибири. – М.; 2004. 192 с.
5. Ростовцев М.Г., Кол Н.А., Чульдун А.Ф., Калущ Ю.А. Результативность выявления эпизоотий чумы при исследовании различного полевого материала в Тувинском природном очаге (Каргинский мезоочаг) // Проблемы особо опасных инфекций. – 2009. – № 4(102). – С. 32–36.
6. Кол, Н.А. Использование ГИС-технологий при анализе пространственной динамики Каргинского мезоочага Тувинского природного очага чумы / Н.А. Кол, Ю.А. Калущ, М.Г. Ростовцев и др. // Геоинформатика. 2008. №3. С. 11–16.

7. Крюков, И.Л. Взаимосвязь сезонной жизнедеятельности длиннохвостого суслика и блохи *Citellophilus tesquorum* Тувинском природном очаге чумы. В кн.: Совр. Асп. профилакт. зоонозных инф.: Тез. докл. к Всесоюз. науч. конф. специалистов противочумн. учр. – Иркутск; 1984. Ч. 1. С. 85-87.
8. Ростовцев, М.Г. Новый подход к оценке сезонной активности Каргинского участка очаговости Тувинского очага чумы / М.Г. Ростовцев, Е.Ч. Хомушку, Ю.А. Калущ, А.Ф. Чульдун // Бюлл. Вост.-Сиб. науч. центра СО РАМН. 2004. Т. 2, № 1. С. 157-160.
9. Галацевич, Н.Ф. Динамика численности *Citellophilus tesquorum altaicus* (Ioff, 1936)–блохи длиннохвостого суслика на территории Каргинского участка очаговости Тувинского природного очага чумы / Н.Ф. Галацевич, А.Ф. Чульдун // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология» 2015. Т. 12. С. 88-97.
10. Вержуцкий, Д.Б. Пространственная структура населения массовых видов блох длиннохвостого суслика в Тувинском природном очаге чумы и ее эпизоотологическое значение: дис. ... к.б.н. – Иркутск, 1990. 139 с.
11. Вержуцкий, Д.Б. К экологии блохи *Citellophilus tesquorum* Wagn., 1898 в юго-западной Туве / Д.Б. Вержуцкий и др. // Байк. зоол. журн. 2009. № 1 С. 17-22.
12. Вержуцкий, Д.Б. Особенности изменения численности блох длиннохвостого суслика в Тувинском очаге чумы / Д.Б. Вержуцкий, Н.Ф. Галацевич, Н.И. Ковалёва // Карантинные и зоонозные инфекции в Казахстане. – Алматы, 2001. Вып. 3. С. 85-87.
13. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации [Электронный ресурс] // Мировой центр данных: сайт. – URL: <http://meteo.ru/>
14. Галацевич, Н.Ф. Современное состояние численности переносчиков в Монгун-Тайгинском мезоочаге Тувинского природного очага чумы // Актуальные проблемы профилактики особо-опасных и природно-очаговых инфекционных болезней. – Иркутск, 1994. С. 29.
15. Галацевич, Н.Ф. Многолетняя динамика численности пяти массовых видов блох длиннохвостого суслика в долине реки Каргы (Республика Тыва) / Н.Ф. Галацевич, А.Ф. Чульдун // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология» 2015. Т. 14. С. 65-77.
16. Галацевич, Н.Ф. К характеристике эпизоотической активности Тувинского природного очага чумы / Н.Ф. Галацевич и др. // Мат-лы межрегион. совещ. энтомологов Сибири и ДВ. – Новосибирск, 2010. С. 324-325.
17. Холин, А.В. Субвидовые группировки длиннохвостого суслика (*Spermophilus undulatus* Pallas, 1778) в Южной Сибири (на примере Юго-Западной Тувы и Предбайкалья): автореф. дис. ... к.б.н. – Иркутск, 2013. 26 с.
18. Чульдун, А.Ф. Использование метода Фурье для анализа многолетней динамики *C. tesquorum* / А.Ф. Чульдун, Н.Ф. Галацевич // Сборник мат-лов регион. науч.-практ. конф. «Становление и развитие физико-математического образования и науки в Республике Тыва», 25 октября 2014 г. – Кызыл: РИО ТувГУ, 2015. С. 97-100.
19. Вержуцкий, Д.Б. Основные результаты дезинсекций в долине реки Саглы (Тувинский природный очаг) / Д.Б. Вержуцкий и др. // Дальневост. журн. инфекц. патологии. 2014. №24. С. 18-21.

INFLUENCE OF SEASONAL CLIMATIC FACTORS ON INDEXES OF ABUNDANCE AND DOMINATION OF LONG-TAILED GOPHER FLEA *CITELLOPHILUS TESQUORUM ALTAICUS* (IOFF, 1936) IN THE VALLEY OF KARGA RIVER (SOUTHWEST TUVA)

© 2016 E.Ch. Homushku¹, A.F. Chuldun^{1,2}, N.F. Galatsevich³

¹ Tuva Institute of Complex Development of Natural Resources SB RAS, Kyzyl

² Tuva State University, Kyzyl

³ Tuva Antiplague Station of “Rospotrebnadzor”, Kyzyl

Influence of climatic factors (average values on seasons of air temperature and amount of precipitation) on indexes of abundance and domination of flea *Citellophilus tesquorum altaicus* (Ioff, 1936) on a long-tailed gopher in the valley of Karga river since 1967-2013 is studied. Multiple regression models of dependences of indexes of abundance and domination of this kind from climatic factors are constructed.

Key words: *Citellophilus tesquorum*, climate, regression, modeling

Хомушку Елена Чанзан-ооловна, инженер. E-mail: alyana24@mail.ru

Чульдун Анатолий Федорович, научный сотрудник. E-mail: tajkinol@gmail.com

Галацевич Нина Феликсовна, зоолог