

УДК 595.421:578.087.1

В. И. Волков, Н. Е. Ершов

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБИЛИЯ КЛЕЩА ТАЕЖНОГО (*IXODES PERSULCATUS* P. S C H.)

Определение численности животных является одной из важнейших экологических проблем, которая успешно может быть решена только при помощи математических методов (Шварц и др., 1972). Используя эти методы, Окулова и др. (1972) успешно выявили факторы, влияющие на динамику численности клеща таежного в условиях Западной Сибири. Однако в прогнозировании обилия клещей математические методы пока не нашли должного применения, а существующие ныне подходы к определению состояния численности членистоногих не отвечают требованиям времени (Коренберг, 1974). Главный их недостаток заключается в том, что прогноз не дает количественных представлений о динамике численности популяций клещей, а лишь определяет общее направление изменений их обилия в следующем сезоне по сравнению с текущим годом.

В настоящем сообщении излагаются материалы по количественному прогнозированию обилия половозрелых *I. persulcatus* в условиях Приамурья. Основой для построения прогностических уравнений послужили результаты всесторонних ежемесячных наблюдений в хвойно-широколиственном лесу Большого Хехцира с 1962 по 1976 г. Использовались также данные метеопостов, расположенных в этом регионе. Обилие взрослых клещей в природе определялось методом «флаго-час».

Для успешного решения задачи было использовано большинство необходимых, на наш взгляд, и биологически обоснованных экологических параметров. Среди внутрипопуляционных и внешних факторов, подвергнутых анализу, были численность мышевидных грызунов за разные периоды (май — сентябрь, июнь — август, июль — сентябрь, май — август); индекс обилия и показатель прокормления неполовозрелых клещей на мышевидных грызунах за эти же периоды; численность полевки красно-серой (*Clethrionomys rufocanus* S u p d.) за май — август, июль — сентябрь, май — сентябрь; индекс обилия неполовозрелых клещей за эти же периоды; индекс обилия личинок и нимф на птицах за май — август; индекс обилия личинок и нимф на мелких млекопитающих и птицах за май — август; сумма осадков за май — июнь, июль — сентябрь и май — сентябрь; гидротермический коэффициент; недостаток насыщения; сумма температур воздуха за май — сентябрь; число дней с дождем за май — сентябрь; сумма эффективных температур воздуха выше 15°; сумма среднесуточных температур воздуха за период с температурами выше 15°; продолжительность солнечного сияния за май — сентябрь; продолжительность периода с температурой воздуха выше 15°; продолжительность безморозного периода в воздухе; числа Вольфа; число дней со снежным покровом; высота снежного покрова в начале и в конце зимы; число дней с морозом на поверхности почвы; число дней с морозом на глубине 0,4 м.

Экологические параметры исследовались статистически с помощью многофакторного регрессивного анализа с автоматическим выбором наиболее значимых факторов. Каждый независимый фактор, а также большое количество их комбинаций анализировались с зависимой величиной — численностью имаго клеща таежного в период максимальной активности (май — июнь). При этом объем исходного материала позволял анализировать одновременно не более 5 факторов. Доверительная вероятность в исследовании составляла 0,95. По уровню значимости,

Динамика числовых значений экологических факторов,

| Факторы | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 |
|---|------|------|------|------|
| Численность (% попадания на 100 ловушко-суток) мышевидных грызунов в июне — августе | 21,6 | 1,8 | 12,2 | 13,8 |
| Численность красно-серой полевки в июле — сентябре | 12,8 | 1,8 | 4,6 | 12,2 |
| Индекс обилия личинок и нимф на мышевидных грызунах в июне — августе | 0,4 | 1,0 | 1,2 | 0,6 |
| Показатель прокормления личинок и нимф на мышевидных грызунах в мае — сентябре | 6,6 | 0,9 | 5,2 | 6,0 |
| Сумма осадков (мм) в мае — сентябре | 730 | 599 | 620 | 492 |
| Сумма осадков в июле — сентябре | 605 | 424 | 434 | 345 |

равному 0,05, определялся критерий Фишера. На алгоритмическом языке АВТОКОД «Инженер» была составлена программа для электронно-вычислительной машины «Минск-22М», реализовавшая алгоритм нахождения коэффициентов регрессионного уравнения и других статистических характеристик.

Для проверки не только линейных, но и нелинейных связей факторов с зависимой переменной в программу был внесен дополнительно блок аппроксимации, с помощью которого для выяснения влияния каждого независимого фактора на исследуемый подбирались лучшая (из восьми характеристик) аппроксимирующая кривая. Описание такого подбора дано Косаревым и Носовым (1971) в специальной программе. Крите-

рием являлась средняя ошибка аппроксимации: $e = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta x_i}{x_i} \right|$. При этом $\Delta X_i = X_i - X'_i$. X_i — истинные значения, X'_i — рассчитанные значения, n — число наблюдений.

Общая методика подхода к подобной статистической обработке материала изложена Дрейпер, Смит (1973). При составлении программы были использованы также выводы и формулы, предложенные Пустыльник (1968) и стандартные программы из математического обеспечения ЭВМ «Минск-22М».

В результате множественного корреляционного анализа выбраны те факторы, которые отличались наиболее тесной связью с динамикой популяции клещей (таблица). Многофакторный анализ позволил построить математические уравнения — модели популяции клеща таежного для их использования с целью составления количественных прогнозов обилия. По наибольшему коэффициенту множественной корреляции ($r=0,8381$) и наименьшей ошибке аппроксимации ($e=0,1941$) лучшим прогностическим уравнением, отражающим зависимость обилия имаго от основных экологических параметров и позволяющим осуществлять ближайший (на следующий год) прогноз, является следующее:

$$Y = 51\,807,97 \cdot X_1^{-1,0796} + 52,7746 \cdot (1,0558)^{X_2} - 76,3974, \quad (1)$$

где X_1 — сумма осадков за июль — сентябрь; X_2 — показатель прокормления личинок и нимф клеща на мышевидных грызунах за май — сентябрь. Y — здесь и во всех последующих уравнениях регрессии — обилие половозрелых клещей в мае — июне.

Сопоставление рассчитанных по уравнению величин с фактическими данными полевых учетов показало хорошую согласованность (рис. 1). Кроме приведенной прогностической модели, получены другие уравне-

определяющих обилие популяции половозрелых *I. persulcatus*

| 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1,0 | 8,8 | 17,5 | 7,7 | 8,9 | 10,4 | 10,8 | 17,4 | 30,6 | 15,0 |
| 1,5 | 3,1 | 4,7 | 1,8 | 5,7 | 8,8 | 14,9 | 9,6 | 22,2 | 11,8 |
| 1,2 | 1,3 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,5 | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,6 |
| 1,0 | 5,5 | 9,1 | 2,1 | 9,0 | 11,1 | 10,2 | 5,4 | 14,2 | 8,1 |
| 501 | 607 | 415 | 523 | 499 | 855 | 395 | 469 | 420 | 540 |
| 391 | 429 | 333 | 360 | 400 | 540 | 260 | 353 | 253 | 397 |

ния, также отличающиеся достаточно тесной связью обилия имаго клеща таежного в мае — июне с некоторыми экологическими факторами в различные периоды сезона.

$$Y = 56,9524 \cdot (1,0558)^{X_3} + 42\,269,06 \cdot X_4^{(-0,9702)} - 94,2900 \quad (2)$$

(r = 0,8324); e = 0,1948).

$$Y = 3,3841 \cdot X_5 - 0,2131 \cdot X_6 + 146,1150 \quad (3)$$

(r = 0,8019; e = 0,1982).

Для уравнений (2) и (3): X_3 — показатель прокормления личинок и нимф на мышевидных грызунах в мае — сентябре; X_4 — сумма осадков в мае — сентябре; X_5 — численность (в процентах попадания на 100 ловушко-суток) красно-серой полевки в июле — сентябре; X_6 — сумма осадков в июле — сентябре.

Прогнозы, составленные по уравнениям (2) и (3), также отличаются большой достоверностью: отклонения расчетных значений от фактической численности клещей в большинстве случаев несущественны (рис. 1). Эти уравнения могут быть использованы для количественных прогнозов обилия половозрелых *I. persulcatus* на следующий год.

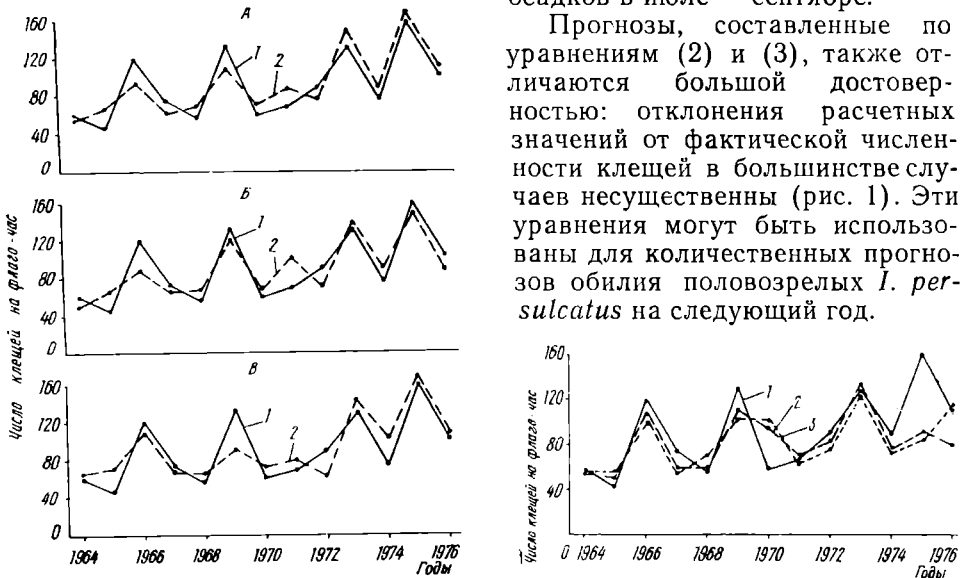


Рис. 1. Сравнение прогнозируемой на следующий год и фактической численности половозрелых *I. persulcatus*:

1 — данные учетов; 2 — прогноз; А — по уравнению (1); Б — по уравнению (2); В — по уравнению (3).

Рис. 2. Сравнение прогнозируемой на второй последующий год и фактической численности половозрелых *I. persulcatus*:

1 — данные учетов; 2 — прогноз по уравнению (4); 3 — прогноз по уравнению (5).

В результате соответствующего многофакторного анализа эндогенных и экзогенных факторов выявлена возможность отдаленных прогнозов (на второй последующий год) численности имаго клеща таежного. Лучшая математическая модель ($r=0,8682$; $e=0,1336$) популяции, построенная с этой целью, выражается уравнением регрессии с нелинейной связью:

$$Y = 98,2056 \cdot X_7^{(0,1542)} + 69,9080 \cdot (1,9074)^{X_8} - 189,1781. \quad (4)$$

Получено также уравнение с линейной связью:

$$Y = 2,8022 \cdot X_7 + 90,1062 \cdot X_8 - 36,3657 \quad (5)$$

$(r = 0,7816; e = 0,1891).$

Для уравнений (4) и (5): X_7 — численность мышевидных грызунов в июне — августе; X_8 — индекс обилия личинок и нимф на мышевидных грызунах в июне — августе.

Сравнение данных, рассчитанных по уравнениям (4) и (5), с истинными значениями численности имаго дали сходные результаты. В 78% случаев отклонения прогнозируемых величин от фактических показателей численности были незначительны, лишь в 1970 и 1975 гг. отклонения существенные (рис. 2).

Таким образом, подставляя в приведенные уравнения числовые значения иксов — экологических факторов, получим по уравнениям (1), (2) и (3) ближайший (на следующий год) прогноз, а по уравнениям (4) и (5) — отдаленный (на второй последующий год) прогноз обилия половозрелых *I. persulcatus*. Основными факторами, определяющими динамику популяции взрослых эпидемиологически опасных клещей, являются состояние численности мышевидных грызунов и паразитирующих на них личинок и нимф, а также интенсивность осадков в теплое время предшествующих сезонов, когда формируются популяции имаго паразитов. Из мышевидных грызунов в условиях Приамурья, как и всего Дальнего Востока, наиболее обычным хозяином неполовозрелых клещей является красно-серая полевка, составляющая в коренных хвойных и хвойно-широколиственных лесах (типичных биотопах южной половины Приамурья) 85—100% общей численности грызунов. Основная масса (в среднем 70—80% общего количества) кровососов паразитирует на грызунах в летние месяцы (июнь — август). Связь динамики численности взрослых особей клеща таежного с осадками, прежде всего, опосредуется через преимагинальные фазы, активность которых в большой степени зависит от интенсивности и количества выпадающих дождей. Подмечено, что при длительных и интенсивных дождях степень пораженности зверьков неполовозрелыми клещами снижается. В дождливые сезоны одновременно понижается температура воздуха, что замедляет развитие паразитов, повышает смертность клещей, особенно среди напитавшихся личинок и нимф, которые, покрываясь плесневыми грибами, погибают в массе. Кроме того, при обильных дождях в условиях резко пересеченной местности Дальнего Востока значительное число клещей и прежде всего личинок и нимф, преимущественно напитавшихся, вместе с лесной подстилкой смываются потоками воды.

В Приамурье зимой смертность клещей по годам изменяется незначительно. Не наблюдается заметных различий в плодовитости самок по годам. Эти факторы, по-видимому, не оказывают существенного влияния на состояние последующих популяций взрослых активных паразитов.

При полевых наблюдениях в целях прогнозирования следует обращать равное внимание на нимф и личинок, поскольку их общее количество является одним из ведущих факторов, определяющих численность

имаго. Многие личинки, напитавшись в одно время с нимфами и попав в наиболее благоприятные условия, могут пройти полный цикл развития и превратиться в имаго одновременно с нимфами или даже быстрее. Эта экологическая особенность паразитов известна (Беляева, 1966). Но исследователи не учитывали ее, прогнозируя обилие имаго.

Для реализации предложенных методов прогнозирования не требуется проведения большого объема полевых учетных и тем более экспериментальных наблюдений. Достаточно 1—2 раза в месяц (с мая по сентябрь) осуществлять в типичных местообитаниях учеты численности мышевидных грызунов и паразитирующих на них личинок и нимф. В конце сезона полученные данные суммируются, определяются средне-сезонные показатели численности зверьков, индексы обилия и показатели прокормления клещей. На определение суммарных за сезон показателей особое внимание обращали также Бабенко и др., (1968). Для достоверности используемых количественных показателей число осмотренных в течение сезона зверьков должно быть не менее 100. Сумма осадков заимствуется из метеобюллетней или непосредственно на метеостанциях, постах, расположенных вблизи пункта зоолого-паразитологических наблюдений. И уже в октябре с большой долей вероятности можно получать прогноз обилия взрослых клещей на два последующих года.

Безусловно, предложенные методы не лишены недостатков. Однако в настоящее время, когда только начинается период широкого применения статистических методов и ЭВМ для решения задач по моделированию и прогнозированию численности животных, данный опыт и предложенные уравнения регрессии могут быть использованы в целях получения количественных прогнозов обилия клещей. В дальнейшем при длительных стационарных наблюдениях будут получены более представительные ряды экологических факторов. Разумеется, что в результате повторной статистической обработки таких материалов прогностические уравнения регрессии усовершенствуются, их достоверность, несомненно, повысится. Вопрос о том, можно ли применять предложенные уравнения для прогнозирования обилия клеща таежного в условиях иных регионов требует проверки.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабенко Л. В., Рубина М. А. Прогнозирование обилия таежного клеща.— В кн.: *Вопр. эпидемиол. клещ. энцеф. и биол. закон. в его природном очаге.* М.: Медицина, 1968, с. 213—217.
- Беляева Н. С. О прогнозировании численности иксодовых клещей в очаге клещевого энцефалита.— В кн.: *Вопр. инфекц. и паразитарн. забол. человека*, вып. 8(2). Хабаровск: 1966, с. 46—50.
- Дрейпер Н., Смит Г. *Прикладной регрессионный анализ* (пер. с англ.)— М.: Статистика, 1973.— 392 с.
- Коренберг Э. И. Некоторые проблемы популяционной экологии иксодовых клещей.— *Зоол. журн.*, 1974, 53, вып. 2, с. 165—178.
- Косарев Е. С., Носов А. А. Программа установления зависимости между случайными величинами (подбор и решение уравнений регрессии).— М.: Отдел подсобных производств ЦТИСИЗ, 1971.— 60 с.
- Окулова Н. М., Мыскин А. А., Добрынина Л. И. К анализу факторов, влияющих на динамику численности таежного клеща. *Тр. Ин-та полиомиелита и вирус. энцеф. АМН СССР*, 1972, вып. 20, с. 227—240.
- Пустыльник Е. И. *Статистические методы анализа и обработки наблюдений.*— М.: Наука, 1968.— 288 с.
- Шварц С. С., Горчаковский П. А. *Экология в СССР: состояние, основные направления и перспективы.*— *Экология*, 1972, № 6, с. 5—12.