



<http://dx.doi.org/10.15407/dopovidi2016.07.115>
УДК 595.42:576.89

Член-корреспондент НАН України **И. А. Акимов¹, А. П. Корж²**

¹Институт зоологии НАН Украины им. И. И. Шмальгаузена, Киев

²Запорожский национальный университет

E-mail: ap777777@yandex.ru

Использование теории игр для выбора стратегии ограничения численности паразитического клеща *Varroa destructor* — возбудителя варрооза пчел

В условиях неопределенности возможных вариантов последующего развития ситуации с варроозом в мире использование теории игр позволяет оценить эффективность применения разных стратегий ограничения его негативного влияния на пчелосемьи. Для анализа возможных на сегодня стратегий были использованы “игры с природой”. В соответствии с полученными результатами, современное пчеловодство должно базироваться на полноценном использовании лечебных мероприятий против варрооза. Единственной реальной альтернативой медикаментозной терапии является увеличение доли устойчивых к клещу пчелосемей, после чего возможен переход к другим сценариям. До того поиск также должен быть направлен на лекарственные препараты с наименьшим негативным воздействием на пчелосемьи, что имеет наибольший экономический эффект.

Ключевые слова: клещ *Varroa destructor*, теория игр, пчелосемьи, стратегия ограничения влияния клеща.

Паразитический клещ *Varroa destructor* (синоним *V. jacobsoni*) вызывает опасное паразитарное заболевание пчелиных семей варрооз [1]. Этот паразит был описан как *V. jacobsoni* (Oudemans, 1904) с восковой пчелы *Apis cerana* на острове Ява, а затем был обнаружен и в других точках ареала этой пчелы в Юго-Восточной Азии [2].

После интродукции в указанные регионы более продуктивной по медосбору, чем *A. cerana*, медоносной пчелы *A. mellifera*, а также при совместном содержании этих двух видов пчел на одной пасеке и даже в одном улье (биологически эти виды весьма сходны) в начале прошлого века произошел переход паразита на нового хозяина [1, 3]. Сначала заселение обширного антропогенного ареала *A. mellifera* новым для этой пчелы паразитом проходило малозаметно. Но в 1960-х гг. варрооз полностью уничтожил высокорентабельное пчеловодство на Филиппинах, причем погибли все семьи *A. mellifera* [4]. Болезнь начала распро-

страняться на запад, захватывая новые территории и приобретая характер панзоотии на всех континентах (кроме Антарктики), особенно поражая пчел в районах более умеренного климата [1].

В Украине заболевание проявилось в 70-х гг. прошлого века и сопровождалось большими потерями в пчеловодстве. Практически, в настоящее время зараженность пасек клещом *V. destructor* может составлять до 100% [5]. Кроме того, установлено, что клещ переносит возбудителей ряда вирусных и бактериальных заболеваний пчел [6], многие из которых приобрели особую патогенность именно после распространения варрооза [7].

Пока что не выявлены надежные признаки адаптации медоносной пчелы к этому клещу. Тем не менее у нее обнаружено своеобразное гигиеническое поведение — устранение из ячеек сот мертвого расплода, зараженного клещом [8]. Кроме того, уже обнаружены и более устойчивые к данному заболеванию пчелосемьи [9, 10]. Вместе с тем основным сдерживающим варрооз пчел фактором в настоящее время остается применение акарицидов, которые, однако, имеют ряд отрицательных черт — загрязняют продукты пчеловодства, влияют на медоносную пчелу и вызывают развитие резистентности клеща к акарицидам.

Экзотической альтернативой синтетическим лекарственным препаратам против варрооза, с минимальным вредом для пчел и с большой эффективностью, некоторые специалисты считают такие экосредства, как коровья моча [11], растительные препараты и пр. [12]. Это, на наш взгляд, скорее указывает на дискредитацию эффективности химметода. Предлагается также разведение обнаруженных устойчивых к данному паразиту пчелосемей [9, 10]. Считается перспективным и использование синтетических аналогов половых ферромонов клеща [13].

Таким образом, поиск оптимальной стратегии борьбы с *V. destructor* в условиях промышленного пчеловодства не завершен и является актуальным.

По нашему мнению, использование теории игр в условиях неопределенности возможных вариантов последующего развития ситуации с варроозом в мире позволяет оценить эффективность применения разных стратегий ограничения его негативного влияния на пчелосемьи. Для анализа возможных, по современным представлениям, стратегий были использованы “игры с природой” [14]. Заполнение матрицы значимости влияния клеща на популяцию пчел для человека осуществляли на основе нашей экспертной оценки. Максимальный выигрыш для человека (получение полного объема пчелопродуктов) был оценен в 3 балла, а максимальный проигрыш (утрата пчелосемей) — в -3.

Учитывались наиболее типичные ситуации в распространении клеща и в стратегии поведения человека (табл. 1). В частности, основная масса пчел (99%) является чувствительной к клещу, незараженных пчелосемей крайне мало, а около трети клещей оказываются устойчивыми к действию химпрепаратов. Для человека было проанализировано пять стратегий

Таблица 1. Значимость для человека возможных вариантов развития варрооза на пасеках

Пчела	Восприимчивая к клещу				Устойчивая к клещу			
	Нет	Мало	Много	Устойчив	Нет	Мало	Много	Устойчив
Вероятность	0,0099	0,396	0,297	0,2871	0,0001	0,004	0,003	0,0029
Сценарий 1	3	-1	-3	-3	3	0	-1	-1
Сценарий 2	3	0	-2	-2	3	1	-1	0
Сценарий 3	3	1	0	-1	3	2	1	1
Сценарий 4	3	3	2	-2	3	3	3	-2
Сценарий 5	2	2	1	-3	2	2	2	-3

поведения: 1) отсутствие борьбы с клещом; 2) ограничение профилактическими средствами; 3) применение элементарных средств борьбы, частично снижающих численность паразита; 4) полноценное лечение; 5) использование эффективных лекарственных препаратов, но имеющих негативное последствие на пчелосемьи.

На момент появления варрооза в мире для анализа матрицы значимости клеща для человека можно было бы использовать критерий Лапласа [15], который предусматривает одинаковую вероятность влияния клеща на пчел. В этом случае единственным проигрышным вариантом был первый $(-0,375)$, однако из-за непонимания значимости проблемы большинством пчеловодов (особенно любителей) в то время был реализован именно этот сценарий. На наш взгляд, современная панзоотия варрооза является результатом избрания неверной начальной стратегии в борьбе с этим паразитом. Так, только Австралия, исходно жестко придерживающаяся второго сценария, до сих пор для своей территории может признать его оптимальным.

В современных же условиях приходится учитывать вероятность реализации возможных вариантов взаимодействия пчелы и клеща. Поэтому необходимо опираться на критерий Байерса [15], в соответствии с которым результативность отдельных сценариев рассчитывали по формуле

$$\sum_{i=1}^n \beta_{ij} \nu_{ij} \rightarrow \max,$$

где β_{ij} — доля встречаемости случаев заражения клещом восприимчивых и устойчивых пчел; ν_{ij} — значимость варианта заражения пчел клещом для человека.

В целом следует отметить, что на данном этапе человек проигрывает клещу значительную часть возможного дохода от пчеловодства, что снижает рентабельность этой отрасли. Первый сценарий, как и ранее, оказывается полностью проигрышным $(-2,12)$. Действительно, практика показывает, что без вмешательства человека в борьбу с клещом достаточно часто семьи пчел погибают. Во втором сценарии утраты оказываются несколько меньшими $(-1,1372)$. Таким образом, на современном этапе развития варрооза недопустимо не только отсутствие борьбы с клещом, но и ограничение ее лишь профилактическими мероприятиями.

Третий сценарий — выигрышный $(0,1528)$, однако в этом случае вряд ли можно говорить о его использовании в промышленных масштабах. Он годится лишь для небольших пасек, так как элементарные средства борьбы с варроозом (тщательное удаление трутневого расплода, слабые обработки и т. п.) требуют больших затрат ручного труда и частоты применения.

Четвертый сценарий оказался самым выигрышным $(1,226)$. По всей видимости, на современном этапе развития пчеловодства без использования серьезных лекарственных препаратов против варрооза крупные пасеки обойтись не могут. Даже в случае негативных последствий от обработок препаратами (пятый сценарий), которые, например, могут потенциально ослабить пчелосемьи, результативность $(0,213)$ оказалась выше, чем использование элементарных лечебных мероприятий.

Таким образом, современное пчеловодство должно базироваться на полноценном использовании лечебных мероприятий против варрооза. Единственной реальной альтернативой медикаментозной терапии является увеличение доли устойчивых к клещу пчелосемей (вариант уменьшения количества зараженных семей представляется менее реалистичным), после чего возможен переход к другим сценариям, типа использования элементарных средств

борьбы или даже профилактики. До того поиск также должен быть направлен на лекарственные препараты (акарициды), наиболее безопасные для пчелосемей и пчелопродуктов, что будет иметь и наибольший экономический эффект.

Цитированная литература

1. Акимов И. А., Гробов О. Ф., Пилецкая И. В., Барабанова В. В., Ястребцов А. В., Горголь В. Т., Залозная Л. М., Галактионов Ю. К., Ефимов М. В., Непомнящих В. А. Пчелиный клещ *Varroa jacobsoni*. – Киев: Наук. думка, 1993. – 253 с.
2. Gunther C. E. M. A mite from a beehive on Singapore Island (Acarina: Laelaptidae) // Proc. Linnean Soc. New South Wales. – 1951. – **76**, No 2. – S. 155–157.
3. Гапонова В. С., Гробов О. Ф. Клещевые болезни пчел. – Москва: Россельхозиздат, 1978. – 91 с.
4. Morse R. A. Asian bee mites // Glean. Bee Cult. – 1969. – **97**, No 5. – P. 287–315.
5. Перебийнис А., Лукьянова Г. А. Благополучие пасек Симферопольского района АР Крым по варроатозу // Наук. праці ПФ НУБіП України “КАТУ”. Сер. Ветеринарні науки. – 2012. – Вип. 144. – С. 110–113.
6. Гробов О. Ф., Сотников А. Н., Штондина Д. А. Взаимоотношения *Varroa destructor* с различными организмами // Вет. патология. – 2008. – № 3. – С. 7–19.
7. Genersch E., Aubert M. Emerging and re-emerging viruses of the honey bee (*Apis mellifera* L.) // Vet. Res. – 2010. – **41**, No 6. – P. 54–74.
8. Balhareth H. M., Alqarni A. S., Owayss A. A. Comparison of Hygienic and Grooming Behaviors of Indigenous and Exotic Honeybee (*Apis mellifera*) Races in Central Saudi Arabia // Int. J. Agric. Biol. – 2012. – **14**. – P. 1005–1008.
9. Ifantidis M. D. Ontogenesis of *Varroa jacobsoni* Oud // The varroosis in the Mediterranean region. – Zaragoza: CIHEAM, 1997. – P. 13–21.
10. Rinderer T. E., Oldroyd B. P., Frake A. M., de Guzman L. I., Bourgeois L. Responses to *Varroa destructor* and *Nosema ceranae* by several commercial strains of Australian and North American honeybees (Hymenoptera: Apidae) // Austral. J. Entomol. – 2013. – **52**. – P. 156–163.
11. Tiwari R., Mathur V., Bisht B. Efficacy of cow urine and plant products against honeybee mite, *Varroa destructor* (Anderson and Trueman) in *Apis mellifera* (Linnaeus) colonies in uttarakhand – a novel approach // The Bioscan. – 2014. – **9**, No 4. – P. 1425–1429.
12. DeGrandi-Hoffman G., Ahumada F., Probasco G., Schantz L. The effects of beta acids from hops (*Humulus lupulus*) on mortality of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) // Exp. Appl. Acarol. – 2012. – **58**. – P. 407–421.
13. Ziegelmann B., Rosenkranz P. Mating disruption of the honeybee mite *Varroa destructor* under laboratory and field conditions // Chemoecology. – 2014. – **24**, Iss. 4. – P. 137–144.
14. Писарук Н. Н. Введение в теорию игр. – Минск: БГУ, 2015. – 256 с.
15. Горбунюк В. М. Теория принятия решений. – Томск: Изд-во Нац. исслед. Томск. политехн. ун-та, 2010. – 67 с.

References

1. Akimov I. A., Grobov O. F., Piletskaya I. V., Barabanova V. V., Yastrebtsov A. V., Gorgol V. T., Zaloznaya L. M., Galactionov Yu. K., Efimov M. V., Nepomnyashchikh V. A. Bee tick *Varroa jacobsoni*, Kiev: Naukova Dumka, 1993 (in Russian).
2. Gunther C. E. M. Proc. Linnean Soc. New South Wales, 1951, **76**, No 2: 155–157.
3. Gaponova V. S., Grobov O. F. Clamp bee disease, Moscow: Rosselchosisdat, 1978 (in Russian).
4. Morse R. A. Glean. Bee Cult., 1969, **97**, No 5: 287–315.
5. Perebijnis A., Luk'janova G. A. Nauk. praci PF NUBiP Ukraine “KATU”, 2012, Vip. 144: 110–113 (in Russian).
6. Grobov O. F., Sotnikov A. N., Shtondina D. A. Vet. patologia, 2008, No 3: 7–19. (in Russian)
7. Genersch E., Aubert M. Vet. Res., 2010, **41**, No 6: 54–74.
8. Balhareth H. M., Alqarni A. S., Owayss A. A. Int. J. Agric. Biol., 2012, **14**: 1005–1008.

9. *Ifantidis M. D.* The varroosis in the Mediterranean region, Zaragoza: CIHEAM, 1997.
10. *Rinderer T. E., Oldroyd B. P., Frake A. M., de Guzman L. I., Bourgeois L.* Austral. J. Entomol., 2013, **52**: 156–163.
11. *Tiwari R., Mathur V., Bisht B.* The Bioscan., 2014, **9**, No 4: 1425–1429.
12. *DeGrandi-Hoffman G., Ahumada F., Probasco G., Schantz L.* Exp. Appl. Acarol., 2012, **58**: 407–421.
13. *Ziegelmann B., Rosenkranz P.* Chemoecology, 2014, **24**, Iss. 4: 137–144.
14. *Pisarik N. N.* Introduction to Game Theory, Minsk: BGU, 2015 (in Russian).
15. *Gorbunov V. M.* Decision theory, Tomsk: Izd-vo NITPU, 2010 (in Russian).

Поступило в редакцію 03.02.2016

Член-кореспондент НАН України **І. А. Акімов¹, О. П. Корж²**

¹Інститут зоології НАН України ім. І. І. Шмальгаузена, Київ

²Запорізький національний університет

E-mail: ap777777@yandex.ru

Використання теорії ігор у виборі стратегії обмеження чисельності паразитичного кліща *Varroa destructor* — збудника вароозу бджіл

В умовах невизначеності можливих варіантів подальшого розвитку ситуації з вароозом у світі використання теорії ігор дає можливість оцінити ефективність застосування різних стратегій обмеження його негативного впливу на бджолосім'ї. Для аналізу можливих на сьогодні стратегій було використано "ігри з природою". Згідно з отриманими результатами, сучасне бджільництво повинне базуватися на повноцінному застосуванні лікарських заходів проти вароозу. Єдиною реальною альтернативою медикаментозної терапії є збільшення частки стійких до кліща бджолосім'ей, після чого можливий перехід до інших сценаріїв. До того пошук також повинен бути спрямованим на лікарські препарати з найменшим негативним впливом на бджолосім'ї, що має найбільший економічний ефект.

Ключові слова: кліщ *Varroa destructor*, теорія ігор, бджолосім'ї, стратегія обмеження впливу кліща.

Corresponding Member of the NAS of Ukraine **I. A. Akimov¹, A. P. Korzh²**

¹I. I. Schmalhausen Institute of Zoology of the NAS of Ukraine, Kiev

²Zaporizhzhya National University

E-mail: ap777777@yandex.ru

Game theory in choosing a strategy of limitation of numbers of parasitic tick *Varroa destructor*, the pathogen of honey bee varroosis

Considering the uncertainty of possible versions of a further development of the varroosis situation worldwide, the game theory allows one to evaluate the effectiveness of implementations of different strategies limiting its negative influence on honey bee colonies. In the analysis of currently available strategies, games against the Nature are used. According to the results, the modern beekeeping industry should implement all possible treatment measures against varroosis. The only viable alternative to drug therapy is the amplification of tick-resistant honey bee colonies, after which other scenarios can be used. Preliminary measures must also include the research of medicinal drugs with the least negative effect on honey bee colonies and the consequent maximum economic effect.

Keywords: tick *Varroa destructor*, game theory, honey bee colonies, tick influence limitation strategy.