

УДК 551.58+577.49

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ ДАТ НАСТУПЛЕНИЯ СЕЗОННЫХ ЯВЛЕНИЙ

© 2020 г. А. Н. Соловьев®

*Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства  
им. профессора Б.М. Житкова, ул. Преображенская, 79, г. Киров, 610000 Россия*

*®E-mail: biomon@mail.ru*

Поступила в редакцию 17.11.2017 г.

После доработки 21.05.2018 г.

Принята к публикации 08.06.2018 г.

Проанализированы многолетние (до 125 лет) ряды дат наступления фаз сезонной активности объектов животного и растительного мира. Установлены корреляционные связи между сезонными явлениями в условиях умеренно-континентального климата востока Русской равнины. Обнаружен высокий уровень корреляции некоторых отдаленных во времени, но синхронно наступающих явлений. Отмечено, что установление корреляционных связей и временных интервалов между сигнальными и прогнозируемыми фенологическими явлениями может использоваться в различных сферах хозяйственной деятельности, в прогнозировании сроков проведения сезонных работ.

DOI: 10.31857/S0002332920010154

Сезонные явления в годовых циклах развития объектов животного и растительного мира, атмосферных, гидрологических и других процессов наступают одновременно, синхронно или через определенные, более или менее постоянные промежутки времени – фенологические интервалы (лаги,  $\Delta t$ ). На относительном постоянстве временных интервалов между датами наступления отдельных сезонных явлений или их корреляционной связи основываются методики фенологической индикации и фенологического прогнозирования (Шульц, 1981). Установив дату наступления одного из явлений синхронной группы, можно считать, что и другие явления данной группы наступили или наступят в очень близкое время. Это сигнальные, или регистрирующие, индикаторы. Они указывают на начало других явлений данной синхронной группы и часто используются при определении сроков проведения различных сезонных работ в сельском, лесном, охотничье-промысловом хозяйствах, при проведении полевых биологических исследований и в других сферах деятельности.

Степень корреляции между наступлением фенологических явлений у разных видов растений и животных с температурой воздуха колеблется в значительных пределах. Как было установлено ранее (Семенов-Тянь-Шанский, 1978) по наблюдениям в Лапландском (Мурманская обл.) и Печоро-Илычском (Республика Коми) заповедниках, коэффициент корреляции ( $r$ ) между месяч-

ной температурой воздуха и датами наступления многих биофенологических явлений достаточно высокий – 0.7–0.8.

Характер корреляционных связей в каждой местности может иметь свои отличительные особенности, поэтому на основе анализа длительных фенологических рядов для каждой конкретной территории устанавливаются соответствующие индикаторные явления. Фенологическая индикация незаменима при оценке природной среды в системе ее комплексного мониторинга. При интегральной оценке различных участков территории как на региональном, так и на топическом уровне, как было отмечено ранее (Сочава, 1978), частные и геосистемные феноиндикаторы подчас лучше выявляют топологические различия, чем другие показатели природной среды.

Установление корреляционных связей и временных интервалов между сигнальными и прогнозируемыми фенологическими явлениями может использоваться в различных сферах хозяйственной деятельности. При наличии устойчивой связи между отдельными парами и группами явлений одно из них может использоваться в качестве указателя дат наступления каких-либо хозяйственно значимых процессов в природе. Так, зацветание рябины обыкновенной совпадает с началом устойчивого летнего тепла и служит сигналом к посадке огородных культур в открытый грунт, а начало цветения калины сигнализирует о скором вылете озимой совки, поскольку эти яв-

ления наступают в пределах одинакового диапазона суммы эффективных температур.

Высокий уровень корреляции обнаруживают некоторые отдаленные во времени, но синхронно наступающие явления, что может использоваться в прогнозировании дат проведения хозяйственных работ. Например, прилет передовых грачей – наиболее ранний и довольно надежный предиктор начала пролета гусей (Соловьев, Шихова, 2011). Интервал между этим предиктором и прилетом кряквы ( $27 \pm 6.2$  сут) и началом пролета гусей ( $32 \pm 6.7$  сут) вполне достаточен для предварительной ориентировки по дате открытия весенней охоты.

Цель работы – установление корреляционных связей между датами наступления сезонных явлений и определение их индицирующих и прогнозирующих возможностей на востоке Русской равнины, что особенно актуально в условиях меняющегося климата с учащением погодноклиматических аномалий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализировались многолетние (до 125 лет) ряды дат наступления 145 пар фенологических явлений бесснежных периодов года по г. Кирову, расположенному на востоке европейской территории России (ЕТР), в южно-таежной подзоне, в пределах холмистой возвышенности Вятского Увала, на расстоянии 800 км от Северного Ледовитого океана и 1400 км от Каспийского моря.

Сбор фенологической информации осуществлялся добровольными наблюдателями по единой методике (Фенологические..., 1982) в соответствии с программой фенологических наблюдений в Кировской обл. (Программа..., 1982; Соловьев, 2005а). Поступающие от фенокорреспондентов данные ежегодно обрабатывались, корректировались и сводились в общие обзоры по области. Накопленная по г. Кирову фенологическая информация более чем за 100-летний период позволяет определять закономерности сезонной ритмики различных объектов растительного и животного мира под влиянием циклических колебаний климата (Соловьев, 2005б).

Был обработан массив фенологических данных (>10000 фенодат по 130 биофенологическим явлениям). Проанализированы многолетние осредненные данные по наступлению сезонных явлений (начало вегетации, зеленение, зацветание, созревание плодов, осеннее окрашивание листьев, окончание вегетации) у 30 видов растений, по началу активности и наступлению отдельных фаз развития у 9 видов насекомых и у 1 вида земноводных, по датам прилета у 15 видов птиц.

Были выявлены корреляционные связи между датами наступления сезонных явлений. Рассмотрены

как пары сезонных явлений с близкими среднесезонными значениями фенодат, когда легко устанавливаемое явление-указатель свидетельствует о наступлении менее заметных, так и пары со значительно отдаленными среднесезонными датами, когда по явлению-предсказателю (предиктору) можно прогнозировать даты наступления хозяйственно важных процессов в природе. Статистическая обработка фенодат проводилась с использованием программ Microsoft Excel 2003 и Statistica v. 10.0.

Сопряженный анализ вековых климатических и биофенологических данных по г. Кирову более чем за 100 лет показал, что суммарные средние значения трендов по группам биофеноявлений в течение XX в. изменялись в соответствии с той или иной климатической тенденцией (Соловьев, 2005б).

Прогнозная функция феноиндикаторов, используемых в прогнозировании, основана на относительной устойчивости временных интервалов (лагов). Чем ближе значение  $r$  к 1.0, тем выше вероятность удачных прогнозов методом лага. Высокие и очень высокие значения  $r$  (>0.71) могут служить показателем практически удовлетворительных прогнозов.

Зная продолжительность интервала между двумя сезонными явлениями, можно по дате наступления сигнального (регистрирующего, прогнозирующего, или индикационного) предсказать вероятную дату наступления прогнозируемого явления. Методом фенологического лага наступление фенодат прогнозируется по времени появления более ранних сезонных явлений-индикаторов, или предикторов, связанных с датами наступления прогнозируемых явлений. Прогнозирование ведется по формуле  $y = x + \Delta n$ , где  $y$  – вероятная дата наступления прогнозируемого сезонного явления или связанной с ним даты начала сезонных работ;  $x$  – фактическая дата наступления явления-индикатора (предиктора) в год прогноза;  $\Delta n$  – средний многолетний интервал, или лаг, между явлением-индикатором и прогнозируемым явлением. Эффективность прогноза методом фенологического лага зависит от степени его погодичной изменчивости (Шульц, 1981). Степень погодичной изменчивости величины  $\Delta n$  измеряется ее средним квадратичным отклонением ( $\sigma$ ), вычисляющимся по числу лет, в которые наблюдались оба коррелируемых явления в одной и той же местности.

Феноиндикаторы делятся на био-, климато-, гидро-, педо-, ландшафтные. Панареальные феноиндикаторы сохраняют индикационное значение на всем ареале, например зеленение черемухи обыкновенной *Prunus padus*, L. 1753 повсеместно совпадает с началом разгара весны, а зацветание липы *Tilia cordata* Mill., 1768 – с наступлением

краснолетья (полного лета). Индикационные свойства других феноиндикаторов в разных частях ареала меняются. Например, зацветание мать-и-мачехи *Tussilago farfara* L., 1753 в лесной зоне индицирует начало оживления весны, а на юге, в зоне неустойчивых “вегетативных зим”, она зацветает лишь в разгар весны. Различают частные и геосистемные феноиндикаторы (Шульц, 1972). Частные указывают или предсказывают состояние отдельных объектов в конкретной местности, например появление весной крапивницы *Aglais urticae* L., 1758 предсказывает скорое начало сокодвижения у березы *Betula* sp., а зеленение черемухи — скорое зацветание одуванчика *Taraxacum officinale* Wigg., 1780. Геосистемные феноиндикаторы сигнализируют о наступлении или приближении отдельных этапов сезонных циклов в развитии зональных экосистем. Так, прилет грачей *Corvus frugilegus* L., 1758 в средние широты указывает на скорое наступление фенологической весны, зеленение черемухи обыкновенной маркирует наступление фенологического периода зеленой весны, зацветание шиповника обозначает наступление фенологического лета.

По характеру связи прогнозирующего и прогнозируемого явлений различают прямые и косвенные феноиндикаторы (Шульц, 1981). Прямые феноиндикаторы непосредственно связаны с прогнозируемыми явлениями. Это могут быть трофические связи, например появление летающих насекомых указывает на прилет ласточек и стрижей *Apus apus* (L., 1758), вылет хруща майского *Melolonta hippocastani* F., 1801 совпадает по времени с зелением березы. Связь между косвенными феноиндикаторами и прогнозируемыми явлениями опосредована каким-либо общим фактором среды, например температурой воды или воздуха.

По уровню корреляции и степени изменчивости длины лага между предиктором и прогнозируемым явлением индикаторы условно подразделяются на слишком ранние, своевременные и запаздывающие. Их особенности, степень прогнозной надежности и практической значимости проиллюстрированы (Долгошов, 1949) на примере подбора индикаторных явлений по определению оптимальных дат весенней выставки пчелиных ульев на пасеку.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 1.

Высокие коэффициенты корреляции с температурой воздуха обнаруживают ранневесенние термически обусловленные даты вылета перезимовавших (выход из состояния зимней диапаузы) взрослых особей насекомых (пчела *Apis mellifera* L.,

1758, крапивница, лимонница *Gonepteryx rahmni* L., 1758, комары-толкуны (дергуны, звонцы) — *Chironomidae*). С летними температурами коррелируют даты появления насекомых, развивающихся в подстилке, на поверхности почвы.

Низкие значения коэффициента корреляции с температурными порогами дат появления летних генераций насекомых обусловлены их развитием в почве или водной среде. Например, коэффициент корреляции дат вылета майского хруща с переходом среднесуточной температуры воздуха выше 10°C составляет 0.28 ( $\Delta n = -7 \pm 13.7$ ), комара-кусаки *Aedes* spp. —  $-0.32$  ( $\Delta n = -1 \pm 14.5$ ), вылет настоящих стрекоз *Libellula quadrimaculata* L., 1758 — 0.20 ( $\Delta n = 13 \pm 9.1$ ); коэффициент корреляции вылета крупных стрекоз рода *Aeschna* с датами перехода среднесуточных температур выше 10 и 15°C составляют  $-0.21$  ( $\Delta n = 30 \pm 13.5$ ) и  $-0.22$  ( $\Delta n = 10 \pm 10.9$ ) соответственно.

В качестве примера онтогенетически опосредованной связи между вылетом летних генераций насекомых с режимом весенних температур можно привести корреляционные значения дат вылета комаров-кусок с датами весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через +5 и +10°C. Кровососущие комары рода *Aedes* появляются в середине мая, в среднем за 1 сут до перехода среднесуточной температуры воздуха через +10°C. Однако корреляция между этими явлениями слабая ( $r = -0.36$ ,  $\Delta n = 1 \pm 14.5$ ), как и с датами перехода среднесуточной температуры воздуха через 5°C ( $r = 0.28$ ,  $\Delta n = 1 \pm 14.0$ ). Поскольку личинки этих насекомых развиваются в воде, то определяющую роль здесь играют ранневесенние температуры, обуславливающие прогревание мелководных водоемов и тем самым даты вылета перезимовавших самок.

Наступление сезонных явлений в жизни водных организмов связано с температурным режимом водной среды, корреляция их с температурой воздуха и наступлением явлений в наземных экосистемах весьма низкая или вообще отсутствует. Так, при нулевом лаге между средними датами начала брачной активности травяной лягушки *Rana temporaria* L., 1758 и зацветанием осины *Populus tremula* L., 1753, как и при лаге 6 сут между установлением температуры воздуха выше 5°C и началом урчания травяных лягушек корреляция очень низкая (0.06 и 0.15 соответственно). Незначительную корреляцию даты начала брачной активности травяной лягушки показывают с датами зацветанием калужницы *Caltha palustris* L., 1753 ( $r = -0.13$ ,  $\Delta n = -11 \pm 6.4$ ), мать-и-мачехи ( $r = 0.32$ ,  $\Delta n = -15 \pm 7.7$ ), ольхи серой *Alnus incana* (L., 1753) ( $r = 0.20$ ,  $\Delta n = 10 \pm 6.4$ ).

За счет дневного тепла (относительно высоких дневных температур) близко к установлению среднесуточной температуры воздуха выше 0°C

**Таблица 1.** Средние, высокие и очень высокие значения коэффициентов корреляции дат наступления индицирующих (предикторов) и индицируемых сезонных явлений (г. Киров)

Сигнальное (регистрирующее), или индикационное явление	Регистрируемое, или прогнозируемое явление	<i>r</i>	Длина лага, сут			<i>n</i>
			средняя $\pm \sigma$	min	max	
Грач. Прилет передовых	Начало интенсивного таяния снега	0.78	11 $\pm$ 8.7	-11	44	84
То же	Кряква. Прилет	0.90	27 $\pm$ 6.2	15	45	97
»	Гуси. Начало пролета	0.69	32 $\pm$ 6.7	16	51	87
Начало таяния снега	Скворец. Прилет	0.92	5 $\pm$ 8.3	-23	25	84
То же	Кряква. Прилет	0.85	17 $\pm$ 8.5	-8	34	96
»	Гуси. Начало пролета	0.84	22 $\pm$ 8.4	2	47	97
Первые проталины на ровных местах	Полевой жаворонок. Прилет	0.79	1 $\pm$ 5.8	11	16	45
То же	Клещ таежный. Появление	0.65	7 $\pm$ 10.1	-6	30	10
Крапивница. Вылет	Береза. Начало сокодвижения	0.68	11 $\pm$ 7.2	1	37	89
То же	Начало ледохода	0.65	12 $\pm$ 7.5	-3	36	98
Чайка сизая. Прилет	Река. Вскрытие	0.84	4 $\pm$ 3.1	-3	11	37
Чайка озерная. Прилет	То же	0.80	4 $\pm$ 5.9	-7	21	38
Чайка сизая. Прилет	Река. Начало ледохода	0.76	4 $\pm$ 4.1	-11	14	82
Чайка озерная. Прилет	То же	0.66	6 $\pm$ 5.9	-7	23	32
Река. Начало ледохода	Гуси. Начало пролета	0.93	0 $\pm$ 6.28	-25	11	88
Полный сход снега на полях	То же	0.87	0 $\pm$ 7.2	-23	16	86
Установление среднесуточной температуры выше 0°C	Белая трясогузка. Прилет.	0.84	7 $\pm$ 7.5	-12	26	86
Белая трясогузка. Прилет	Начало ледохода	0.79	5 $\pm$ 5.2	-9	25	86
То же	Чайка сизая. Прилет	0.69	0 $\pm$ 5.6	-14	17	76
»	Комары-толкуны. Появление	0.71	1 $\pm$ 6.6	-15	20	85
Клещ таежный. Появление	Начало ледохода	0.78	2 $\pm$ 8.2	-12	11	11
Комары-толкуны. Появление	Мать-и-мачеха. Зацветание	0.91	1 $\pm$ 6.6	-15	22	92
Мать-и-мачеха. Зацветание	Лимонница. Вылет	0.65	0 $\pm$ 7.9	-25	18	93
Лимонница. Вылет	Береза. Начало сокодвижения	0.82	1 $\pm$ 6.4	-14	22	85
Мать-и-мачеха. Зацветание	То же	0.84	2 $\pm$ 5.9	-17	20	87
Установление среднесуточной температуры выше 0°C	Мать-и-мачеха. Зацветание	0.83	9 $\pm$ 7.6	-26	32	93
Мать-и-мачеха. Зацветание	Установление среднесуточной температуры выше 5°C	0.68	9 $\pm$ 10.1	-11	46	86
Калина обыкновенная Зацветание	Боярышница. Вылет	0.86	4 $\pm$ 4.4	-15	28	111
Мать-и-мачеха. Зацветание	Пчелы. Первый облет	0.80	5 $\pm$ 7.4	-13	20	87
Комары-кусаки. Появление	Стриж. Прилет	0.76	1 $\pm$ 9.7	-17	23	38
Комары-кусаки. Появление	Коростель. Прилет	0.63	6 $\pm$ 10.2	-18	30	37
Береза. Начало сокодвижения	Клещ таежный. Появление	0.95	0 $\pm$ 6.3	-10	11	11
Установление среднесуточной температуры выше 0°C	Крапивница. Вылет	0.62	0 $\pm$ 10.0	-26	21	93
То же	Лимонница. Вылет	0.74	10 $\pm$ 8.0	-22	27	86
»	Комары-толкуны	0.79	9 $\pm$ 7.5	-20	24	99
»	Береза. Начало сокодвижения	0.85	11 $\pm$ 6.9	-10	30	85

Таблица 1. Окончание

Сигнальное (регистрирующее), или индикационное явление	Регистрируемое, или прогнозируемое явление	$r$	Длина лага, сут			$n$
			средняя $\pm \sigma$	min	max	
Пчелы. Первый облет	Установление среднесуточной температуры выше 5°C	0.75	4 ± 10.8	-15	41	70
Ива козья. Зацветание	Травяная лягушка. Начала урчать	0.87	8 ± 6.2	-3	18	11
Волчье лыко. Зацветание	Медуница. Зацветание	0.77	2 ± 5.6	-32	20	107
Обыкновенная кукушка. Прилет	Береза. Зеленение	0.64	3 ± 7.8	-18	28	97
Береза. Зеленение	Майский жук. Вылет	0.62	2 ± 6.8	-23	25	77
Одуванчик. Зацветание	То же	0.85	1 ± 6.8	-24	19	78
То же	Ласточка-касатка прилет	0.63	1 ± 8.3	-22	25	100
Черемуха обыкновенная Зацветание	Коростель. Первый крик	0.82	7 ± 5.9	-11	27	110
То же	Комары-кусаки. Появление	0.69	0 ± 7.8	-23	14	39
»	Чечевица. Первая песня	0.60	5 ± 6.5	-9	17	25
Земляника. Зацветание	Комары-кусаки. Массовое появление	0.72	4 ± 4.5	-3	12	11
Коростель. Первый крик	Рябина обыкновенная. Зацветание	0.84	6 ± 6.2	-9	23	108
Установление среднесуточной температуры выше 10°C	Сурепка. Зацветание	0.63	0 ± 10.7	-28	17	123
Рябина обыкновенная Зацветание	Шиповник. Зацветание	0.89	5 ± 4.8	-3	35	124
То же	Мошки. Массовое появление	0.63	2 ± 6.9	-13	14	11
Шиповник. Зацветание	Слепень. Появление	0.58	5 ± 6.3	-9	19	40
Слепень. Появление	Липа. Зацветание	0.91	27 ± 6.1	0	38	41
Земляника. Созревание ягод	Иван-чай. Зацветание	0.80	2 ± 3.8	-13	13	100
Иван-чай. Зацветание	Черника. Первый сбор	0.70	11 ± 4.4	-3	23	124
Кузнечик. Начало стрекотания	Липа. Зацветание	0.88	3 ± 8.3	-14	23	29
Смородина красная. Первые плоды	Черника. Первый сбор	0.71	2 ± 4.2	-13	12	82
Стриж. Отлет	Установление среднесуточной температуры ниже 15°C	0.87	6 ± 11.4	-21	30	53
То же	Муха-жигалка. Первые укусы	0.89	1 ± 5.7	-7	12	11
Липа. Появление желтых листьев	Брусника. Созревание ягод	0.95	49 ± 9.5	22	72	125
Сирень. Окончание листопада	Снежный покров. Установление	0.68	14 ± 15.8	-20	49	54
Замерзание стоячего водоема	То же	0.63	3 ± 15.6	-19	38	13

Примечание.  $r$  – коэффициент корреляции,  $n$  – число лет;  $\sigma$  вычислялась по всему ряду фенодат по г. Кирову.

переходят в активную стадию перезимовавшие взрослые насекомые: мухи, комары-дергуны (толкуны), крапивницы, лимонницы. Из мух первыми весной появляются перезимовавшие червеедка обыкновенная *Pollenia rudis* F., 1794 и ранневесенняя, мясная новоземельская, или синяя весенняя, муха *Protophormia terrae-novae* Robin-eau-Desvoidy, 1830, встречающаяся преимущественно в населенных пунктах, где появляется в феврале–марте на пригреваемых солнцем стенах

домов и стволах деревьев. В интервале между переходами среднесуточной температуры через 0 и 5°C, обычно во второй половине апреля, вылетают оплодотворенные самки комаров-кусок и откладывают яйца в быстро прогревающиеся за счет дневных температур и уже не охлаждающиеся до критических значений ночью мелкие водоемы. Через месяц (в среднем 17 мая) начинается выплод первой генерации взрослых комаров, что по датам обычно совпадает с устойчивым переходом

среднесуточной температуры воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta n = -1 \pm 14.5$ ).

Относительно слабо коррелируют с температурным режимом сезонные явления у теплокровных животных, у которых они опосредованы агро- и гидрометеорологическими процессами (снеготаяние, вскрытие водоемов, оттаивание почвы и др.), трофическим фактором, а также особенностями онтогенеза. Например, по данным наблюдений, проводимых в Пермской обл., прослеживается связь между началом яйцекладки у грачей с температурой на поверхности почвы, где эти птицы отыскивают корм (Шураков, 1976). По нашим данным, коэффициент корреляции средней даты начала насиживания кладок грачами с появлением первых проталин на южных склонах составляет  $0.42$  ( $\Delta n = 1 \pm 12.3$ ). Трофический фактор может существенно влиять на даты наступления зоофенологических явлений, в частности осенне-зимних миграций (кочевков) птиц.

Прилет первых грачей совпадает с установлением весеннего характера погоды, со среднесуточной температурой выше  $-5^{\circ}\text{C}$  и стойкими дневными оттепелями, в среднем за  $11 \pm 8.7$  сут до начала интенсивного снеготаяния, т.е. начала фенологической весны. Направление весенней миграции грачей совпадает с направлением поступательного продвижения весенних термических процессов с юго-запада на северо-восток (Шульц, 1981), т.е. образное выражение “грачи на крыльях весну принесли” отражает реальное свойство этого фенологического явления как зоофенологического индикатора геосистемной ситуации предвесеннего периода.

Высокие коэффициенты корреляции с началом интенсивного таяния снега обнаруживают даты появления рано прилетающих видов птиц — грача ( $r = 0.78$ ), скворца *Sturnus vulgaris* L., 1758 ( $r = 0.92$ ), полевого жаворонка *Alauda arvensis* L., 1758 ( $r = 0.79$ ). Коэффициент корреляции прилета белой трясогузки *Motacilla alba* L., 1758 с ледоходом на большой реке —  $0.79$ .

Прилет (пролет) водоплавающих птиц связан с изменением температурного режима в местах гнездования, что оправдывает использование в качестве прогнозных фенологических индикаторов, прежде всего термически обусловленные явления в абиотической среде: начало интенсивного снеготаяния, появление проталин на полях, вскрытие рек. Корреляционная связь дат наступления этих явлений с прилетом кряквы и началом пролета гусей достаточно высокая (табл. 1).

Кряква *Anas platyrhynchos* L., 1758 прилетает в среднем через  $17 \pm 8.5$  сут ( $r = 0.85$ ) после начала интенсивного таяния снега (даты появления временного стока талой воды — ручьев), одновременно с появлением полыней и закраин на реках, талой воды на полях.

Гуси весной, как и грачи, летят из Средиземноморья и Западной Европы по вектору развития весенней ситуации. Достоверность прогноза начала пролета гусей методом фенологического лага в пределах  $1\sigma$  ( $\pm 4$  сут) составляет по прилету грачей 80, по началу снеготаяния 47, по проталинам 57, по началу ледохода 67% (Соловьев, Шихова, 2011).

Гуси летят во второй миграционной волне в третий период (голой) весны. Средняя дата его наступления в XX в. изменялась по климатическим периодам (Соловьев, 20056) в пределах 8 сут, а максимальный разброс дат начала периода по годам составил 34 сут, продолжительность периода изменялась от 13 до 19 сут. Соответственно изменялись и даты начала прилета и пролета птиц. В среднем весенний пролет гусей начинается через 3 нед после начала интенсивного таяния снега, через 2 нед ( $r = 0.61$ ,  $n = 91$ ) после появления первых проталин на ровных местах, через 1 нед после прилета кряквы ( $r = 0.84$ ,  $n = 92$ ), одновременно с полным сходом снега на полях и началом ледохода на крупной реке.

Нередко пролет гусей опережает вскрытие рек. Например, в 1998 г. пролетные стаи гусей появились у г. Кирова за 10 сут до ледохода на р. Вятке, а в 1970 г. — через 10 сут спустя. Поэтому ледоход не является однозначным сигнальным индикатором весеннего пролета гусеобразных на локальном уровне и может применяться лишь с учетом дат вскрытия рек в соседних регионах по трассе миграции.

Незначительна величина корреляции с температурой воздуха дат прилета поздно прилетающих видов птиц. Например, коэффициент корреляции дат первого крика обыкновенной кукушки *Cuculus canoris* L., 1758 с датами перехода среднесуточной температуры воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  составляет всего  $0.18$  (при длине лага между этими явлениями  $11 \pm 13.0$ ), что объясняется различием пространственно-временных особенностей данных явлений (Семенов-Тянь-Шанский, 1978). Если вегетационные фазы растений определяются только местными факторами, то весенний прилет птиц не столько зависит от метеорологических условий в местах гнездования, сколько генетически детерминирован чувством времени, связанным с динамикой астрономических, а не метеорологических параметров (долготой дня, полуденной или полуночной высотой Солнца). Подтверждением этому служат случаи “несвоевременного” появления в местах гнездования раннеприлетных птиц в аномально ранние или аномально поздние весны: грачей при сохраняющемся снеговом покрове, чаек (сизой *Larus canus* L., 1758 и озерной *L. ridibundus* L., 1758), белых трясогузок, чибисов *Vanellus vanellus* (L., 1758) до вскрытия рек. Поющие зяблики *Fringilla coelebs* L., 1758 в начале—середине апреля при сохраняющемся снеговом по-

крове в парках и скверах г. Кирова – явление не редкое. Показательно также, что необычно ранняя весна 1983 г. мало отразилась на датах прилета птиц в среднюю полосу России (Ромашова, 1985).

Недостаточно точная регистрация осеннего отлета большинства видов птиц затрудняет обнаружение корреляционных связей дат этого явления с экологическими факторами. Коэффициент корреляции средних дат отлета грачей с установлением снежного покрова  $-0.51$  ( $\Delta n = 21 \pm 15.8$ ).

Перелеты птиц обусловлены не столько температурным режимом, сколько изменением длины светового дня. При определенной константе длины дня в местах зимовок у перелетных видов начинаются миграции. Весенний ход температуры воздуха в той или иной степени корректирует даты прилета птиц на последнем этапе миграционного пути (Семенов-Тянь-Шанский, 1978; Дольник, 1975). Известно, что рано наступающей весной пролет птиц в северных широтах проходит быстро, птицы совершают большие суточные перелеты, реже останавливаются на отдых и кормежку. А в затяжную и позднюю весну многие виды перелетных птиц в массе скапливаются у южной границы снегового покрова.

Фенологические сезоны не тождественны климатическим, границы фенологических периодов не совпадают с климатическими. Средние значения лагов между фенологическими и климатическими границами сезонов и субсезонов колеблются от 0 до 11 сут, причем большинство весенних и летних фенологических периодов в среднем наступает раньше климатических, а осенние – позднее (Соловьев, 2005б).

Зоофенологическим маркером первого периода (снежной) весны служит прилет скворцов, средние даты которого с высоким коэффициентом (0.92) и коротким лагом ( $\Delta n = 15 \pm 8.3$ ) коррелируют с началом интенсивного таяния снега.

Фенологическими индикаторами начала второго периода (пестрой) весны служат зацветание мать-и-мачехи и появление крапивницы. С метеорологической границей начала этого периода – установлением среднесуточной температуры воздуха выше  $0^\circ\text{C}$  – зацветание мать-и-мачехи коррелирует с коэффициентом 0.83 ( $\Delta n = 9 \pm 7.6$ ), а появление крапивниц – с коэффициентом 0.62 ( $\Delta n = 0 \pm 10.0$ ).

Третий период (голой) весны индицируют зацветание ольхи серой и вылет лимонницы – с невысокими значениями коэффициента корреляции (0.43 и 0.58), но относительно короткими лагами ( $-5 \pm 10.0$  и  $9 \pm 11.1$ ) с переходом среднесуточной температуры воздуха выше  $5^\circ\text{C}$ .

Наступление четвертого периода (зеленой) весны маркируют зеленение черемухи и березы и прилет деревенской ласточки *Hirundo rustica* L., 1758. Береза начинает зеленеть в среднем за  $8 \pm$

$\pm 12.1$  сут до установления среднесуточной температуры воздуха выше  $10^\circ\text{C}$  ( $r = 0.24$ ), черемуха – за  $10 \pm 12.5$  сут ( $r = 0.21$ ). Длина лага с датами перехода среднесуточной температуры воздуха выше  $10^\circ\text{C}$  дат прилета деревенской ласточки составляет  $6 \pm 13.1$  сут ( $r = 0.1$ ).

Первый период фенологического лета (перволетье) начинается с зацветания шиповника (перволетье) начинается с зацветания шиповника (Tabanidae). Шиповник зацветает в среднем одновременно с установлением среднесуточной температуры воздуха выше  $15^\circ\text{C}$  ( $r = 0.26$ ,  $\Delta n = -2 \pm 10.8$ ), слепни вылетают в среднем через 2 сут после установления температурной границы лета ( $r = 0.86$ ), крупные стрекозы – через  $10 \pm 10.9$  ( $r = 0.22$ ).

За температурную границу второго периода лета (краснолетья) условно принята сумма эффективных температур  $650^\circ\text{C}$ , когда максимально сближаются даты наступления индикаторных фенологических явлений – зацветание липы и начало стрекотания кузнечиков (Tettigoniidae). (На ЕТР наиболее обычны кузнечики: зеленый *Tettigonia viridissima* (L., 1758), певчий *T. cantans* L., 1758, серый *Decticus verrucivorus* L., 1758). Эти феноиндикаторы начала краснолетья отмечаются почти одновременно ( $\Delta n = 3 \pm 8.3$ ) с высоким коэффициентом корреляции (0.93).

Третий период лета также не имеет четкой температурной границы. Неустойчивы в датах и ее фенологические указатели – начало созревания ягод брусники *Vaccinium vitis-idaea* L., 1753 (первый сбор) и массовые предотлетные “хороводы” стрижей.

С переходом среднесуточной температуры воздуха ниже  $15^\circ\text{C}$  через трофический фактор (исчезновение летающих насекомых) коррелируют даты отлета стрижей ( $r = 0.87$ ,  $\Delta n = 6 \pm 11.4$ ), а в мире растений с этим отрицательным температурным порогом по датам более или менее совпадает появление желтых прядей (не первых желтых листьев!) у берез ( $r = 0.4$ ,  $\Delta n = 6 \pm 10.3$ ). Отлет стрижей – зоофенологический маркер окончания летнего сезона (установления среднесуточной температуры воздуха ниже  $15^\circ\text{C}$ ).

Полная осенняя окраска у берез наступает в среднем через  $6 \pm 13.6$  сут после установления среднесуточной температуры воздуха ниже  $10^\circ\text{C}$  ( $r = 0.35$ ). Листопад у берез заканчивается в среднем через  $6 \pm 11.5$  сут после перехода среднесуточных температур ниже  $5^\circ\text{C}$  ( $r = 0.56$ ). Листопад у сирени заканчивается за  $14 \pm 15.8$  сут ( $r = 0.68$ ), а у лиственницы *Larix sibirica* Ledeb. – за  $12 \pm 16.2$  сут ( $r = 0.39$ ) до установления постоянного снегового покрова.

Поскольку в наступлении осенних фенологических явлений определяющее значение имеет не температурный, а световой (фотопериодический) фактор, соответственно и маркирующее значение

принимаемых в качестве индикаторов наступления осенних периодов фитоявлений весьма относительно. Корреляционная связь дат их наступления с температурными границами периодов практически отсутствует.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования установлены корреляционные связи дат наступления сезонных явлений в условиях востока Русской равнины. По наличию корреляционных связей и минимальному значению лагов с метеорологическими границами сезонных периодов установлены биофенологические индикаторы их начала. Большинство этих явлений сохраняет свое индикационное значение в пределах всей средней полосы ЕТР.

Установлено, что по мере накопления тепла и стабилизации среднесуточных температур корреляционные связи фенологических явлений с температурным фактором летом ослабевают. Размываются и температурные границы второго и третьего периодов лета. С окончанием периода устойчивых температур и началом их постепенного снижения несколько увеличиваются корреляционные, преимущественно опосредованные, связи с ними дат наступления биофенологических явлений.

Таким образом, методом фенологического лага достаточно эффективно можно определять даты наступления относительно скрытых явлений и прогнозировать даты наступления отдаленных во времени сезонных процессов.

Автор выражает благодарность коллеге, кандидату биологических наук Т.Г. Шиховой за содействие в накоплении и подготовке к статобработке фенологических данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Долгошов В.И.* Индикаторы выставки пчел. Календарь природы СССР. М.: МОИП, 1949. Кн. 2. С. 120–124.
- Дольник В.Р.* Миграционное состояние птиц. М.: Наука, 1975. 398 с.
- Обуховский Ю.М.* Ландшафтная индикация. Учебное пособие. Минск, 2008. 268 с.
- Программа фенологических наблюдений в Кировской области. 5-е изд. Киров: Кировск. обл. краевед. музей, 1982. 24 с.
- Ромашова А.Т.* Особенности прилета и отлета птиц в 1983 году // Влияние необычных погодных условий на сезонное развитие природы в 1983 году. М.: МФГО, 1985. С. 35–36.
- Семенов-Тянь-Шанский О.И.* Индикаторное значение многолетних наблюдений // Биологические методы оценки природной среды. М.: Наука, 1978. С. 7–28.
- Соловьев А.Н.* Сезонные наблюдения в природе. Программа и методика регионального фенологического мониторинга. Киров: Дом печати – Вятка, 2005а. 96 с.
- Соловьев А.Н.* Биота и климат. Региональная фенология. М.: Пасва, 2005б. 288 с.
- Соловьев А.Н., Шихова Т.Г.* Определение сроков весенней охоты на водоплавающих птиц на основе фенологического прогнозирования // Вестн. охотоведения. 2011. Т. 8. № 2. С. 194–203.
- Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1978. 319 с.
- Фенологические наблюдения: организация, проведение, обработка. Л.: Наука, 1982. 224 с.
- Шульц Г.Э.* Индикационная фенология на современном этапе // Изв. ВГО. 1972. Т. 104. № 2. С. 81–87.
- Шульц Г.Э.* Общая фенология. Л.: Наука, 1981. 188 с.
- Шураков А.И.* Время прилета и продолжительность гнездовой жизни грачей на северной границе ареала // Сезонное развитие природы. Фенология млекопитающих и птиц: Матер. конф. М.: Моск. фил. ГО СССР, 1976. С. 93–95.

## Correlation Relations between the Dates of Natural Seasonal Phenomena

A. N. Soloviev<sup>#</sup>

*Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, ul. Preobrazhenskaya 79, Kirov, 610000 Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: biomon@mail.ru*

Long-term (up to 125 years) series of dates for the onset of 145 pairs of phenological phenomena of snowless periods of the year were analyzed. Correlation links between seasonal phenomena in the conditions of the temperate continental climate of the east of the Russian Plain have been established. The pairs of seasonal phenomena with coinciding annual mean values of phenodates were predominantly considered. Some remote in time synchronous phenomena have been detected at high level of correlation. The establishment of correlation links and time intervals between signal and predicted phenological phenomena can be used in various spheres of economic activity, in forecasting the timing of economic works.