

УДК 551.5

doi:10.21685/2307-9150-2022-4-8

Влияние климатических изменений на динамику фенологических процессов в Нижегородском Правобережье

М. С. Любов¹, О. И. Недосеко²

^{1,2}Арзамасский филиал Национального исследовательского
Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского,
Арзамас, Нижегородская обл., Россия

¹lubov.arz@mail.ru, ²nedoseko@bk.ru

Аннотация. *Актуальность и цель.* В связи с потеплением климата на региональном и глобальном уровнях одним из актуальных направлений в современной науке является выявление изменений климатических условий на основе изучения фенологических процессов. *Цель работы* – выявление особенностей фенологических процессов в условиях изменения климата на примере Арзамасского региона Нижегородского Правобережья. *Материалы и методы.* Для анализа были выбраны ключевые фенологические процессы и фенообъекты живой и неживой природы по сезонам. В весенний период фиксировались: первые проталины, начало весны, сход снежного покрова, появление листьев на на березе повислой (*Betula pendula* Roth.), начало цветения черемухи обыкновенной (*Prunus padus* L.), начало цветения сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.), последний заморозок на почве. В летний период фиксировалась дата начала лета и отмечалось начало цветения шиповника волосистого (*Rosa villosa* L.) и липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.). В осенний сезон фиксировалась дата наступления осени, а также первый заморозок, первый снег, первый снежный покров, окончание массового листопада и начало зимы. *Результаты.* Тенденцию потепления климата в Нижегородском Правобережье подтверждают многолетние метеорологические (средние месячные температуры воздуха и суммы осадков) и фенологические наблюдения по сезонам. Анализ статистических данных метеорологических наблюдений подтверждает, что по сравнению с прошлым веком: существенно потеплели практически все месяцы холодного периода; обновились положительные температурные рекорды многих месяцев; сроки последнего заморозка сместились с конца на начало второй декады мая; в результате более теплых зим и затяжных оттепелей мощность снежного покрова сократилась в среднем на 10–15 см, наибольшее количество осадков выпадает не на июль, а на июнь или август; циркуляционные процессы в атмосфере стали более активными; произошло удлинение продолжительности теплого времени года и, как следствие этого процесса, – увеличение периода вегетации растений более чем на одну неделю. *Выводы.* В Нижегородском Правобережье по сравнению с XX в. наблюдается сдвиг фенологических процессов: весной в сторону более раннего их наступления, а осенью в сторону запаздывания. Это обусловлено меняющимися климатическими условиями. По сравнению с XX в. весна стала приходить в среднем на неделю раньше, с заметным опозданием отмечается начало зимы, а зимний сезон сократился примерно на две недели.

Ключевые слова: потепление климата, Нижегородское Правобережье, Арзамасский регион, фенологические процессы

Для цитирования: Любов М. С., Недосеко О. И. Влияние климатических изменений на динамику фенологических процессов в Нижегородском Правобережье // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 78–94. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-8

The impact of climate change on the dynamics of phenological processes in the Nizhny Novgorod right bank region

M.S. Lyubov¹, O.I. Nedoseko²

^{1,2}Arzamas Branch of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,
Arzamas, Nizhny Novgorod region, Russia

¹lubov.arz@mail.ru, ²nedoseko@bk.ru

Abstract. *Background.* In connection with climate warming at the regional and global levels, one of the topical areas in modern science is the identification of changes in climatic conditions based on the study of phenological processes. The purpose of the work is to identify the features of phenological processes under the conditions of climate change by the example of Arzamas region of the Nizhny Novgorod right riverbank. *Materials and methods.* Key phenological processes and phenological objects of animate and inanimate nature were selected for analysis by seasons. In the spring period, the following were recorded: the first thaws, the beginning of spring, the melting of the snow cover, the appearance of leaves on the birch (*Betula pendula* Roth.), the beginning of bird cherry (*Prunus padus* L.) blossoms, the beginning of lilac (*Syringa vulgaris* L.) blossoms, the last frost on the soil. During the summer period, the date of the beginning of summer was fixed and the beginning of flowering of wild rose (*Rosa villosa* L.) and linden (*Tilia cordata* Mill.) was noted. In the autumn season, the date of the onset of autumn was recorded, as well as the first frost, the first snow, the first snow cover, the end of mass leaf fall and the beginning of winter. *Results.* The trend of climate warming in the Nizhny Novgorod right riverbank is confirmed by long-term meteorological (average monthly air temperatures and total precipitation) and phenological observations by season. Analysis of the statistical data of meteorological observations confirms that, compared with the last century: almost all months of the cold period have become significantly warmer; positive temperature records have been updated for many months; the timing of the last frost shifted from the end to the beginning of the second decade of May; as a result of warmer winters and prolonged thaws, the thickness of the snow cover has decreased by an average of 10–15 cm; the largest amount of precipitation falls not in July, but in June or August; circulation processes in the atmosphere have become more active; there was a lengthening of the duration of the warm season and, as a result of this process, an increase in the vegetation period of plants by more than one week. *Conclusions.* In the Nizhny Novgorod right riverbank compared to the 20th century there is a shift in phenological processes: in spring towards their earlier onset, and in autumn towards delay. This is due to changing climatic conditions. Compared to the 20th century spring began to arrive on average a week earlier, the beginning of winter is marked with a noticeable delay, and the winter season has shortened by about two weeks.

Keywords: climate warming, Nizhny Novgorod right riverbank, Arzamas region, phenological processes

For citation: Lyubov M.S., Nedoseko O.I. The impact of climate change on the dynamics of phenological processes in the Nizhny Novgorod right bank region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2022;(4):78–94. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-8

Введение

В настоящее время мы становимся свидетелями быстро меняющегося климата. За последние сто лет глобальная температура воздуха на планете выросла более, чем на 1 °С, причем потепление на Земле происходит неравномерно [1–3]. Так, в тропическом поясе температурный тренд практически не выражен. В то же время потепление в Арктике происходит быстрее и мас-

штабнее, чем в других регионах мира [4, 5]. Заметное изменение климата происходит и на территории России. Временной ход аномалии температуры приземного воздуха как отклонение от средней величины за 1961–1990 гг. показывает потепление климата на территории России на 1,4 °С [6]. При этом аномалии составили в Северном полушарии +0,8 °С, в Южном полушарии +0,4 °С [7]. В наступившем XXI столетии тенденция потепления климата в северных широтах продолжает сохраняться. На большей части территории России темпы потепления климата превышают среднемировые. За период 1976–2019 гг. рост средней годовой приземной температуры воздуха составил 0,52 °С/10 лет [8]. Одним из актуальных направлений в современной науке является выявление изменений климатических условий на основе изучения фенологических процессов [9–12]. Во многих странах мира создаются базы данных фенологической информации, ведется мониторинг [13–15]. Потепление климата происходит и в средней полосе Европейской части России, в том числе и в Нижегородском Правобережье.

Цель работы – выявление особенностей фенологических процессов в условиях изменения климата на примере Арзамасского региона Нижегородского Правобережья.

Климат Нижегородского Правобережья

Территория Нижегородского Правобережья занимает южную половину Нижегородской области и ограничена реками: Волгой – на севере, Окой – на западе, Сурой – на востоке. Регион расположен в пределах 56°30′ с.ш. и 54°30′ с.ш. Правобережье Нижегородской области находится в средних умеренных широтах. Суммарная среднегодовая солнечная радиация на территории региона составляет около 90 ккал/см². Продолжительность солнечного сияния составляет примерно 40 %. Максимальное количество пасмурных дней в период с ноября по январь – в среднем до 20 суток за месяц. Наиболее солнечные дни наблюдаются в Нижегородском регионе с мая по июль [16–18].

На формирование климата Нижегородского Правобережья оказывают влияние и арктические воздушные массы, которые вызывают сухую и очень холодную погоду зимой, заморозки весной и осенью и прохладную погоду летом. Арктические воздушные массы проникают с севера Скандинавии и с акватории Карского моря (ультраполярные вхождения антициклонов), в случае последних – зимой наблюдаются сильные морозы. В XXI в. ультраполярные вхождения зимой стали крайне редкими. Летом, при установлении антициклональной погоды (малооблачной), арктические воздушные массы вследствие большой сухости воздуха могут вызывать в Нижегородском Правобережье продолжительные засухи с быстрым прогревом воздуха. На погодноклиматических условиях теплого сезона в определенной мере сказывается влияние тропических континентальных воздушных масс, поступающих с юго-востока из районов Центральной Азии. Вторжение тропического воздуха вызывает летом сильную жару и засуху, а осенью приводит к возврату летнего режима погоды (такие возвраты тепла осенью становятся одной из причин установления «бабьего лета» в Нижегородском регионе) [18].

В определенной степени климатообразующим фактором Окско-Волжско-Сурского междуречья выступает рельеф. Отсутствие гор на севере, западе и юге Восточно-Европейской равнины способствует свободному воз-

духообмену как в субширотном, так и в субмеридианальном направлениях. Расположенные на востоке от нашего региона Уральские горы вследствие их незначительной высоты не представляют собой серьезных препятствий для проникновения воздушных масс из Сибири. Слабая вертикальная расчлененность рельефа в пределах Нижегородского Правобережья заметных климатических различий не создает, но низины, лежащие в «дождевой тени», как и долины рек, получают на несколько миллиметров влаги меньше, чем наветренные склоны положительных форм рельефа [19].

Безусловно, на степень континентальности климата влияет удаленность от Атлантического океана. Влажный морской воздух, проходя над подстилающей поверхностью Зарубежной Европы и Восточно-Европейской равнины, трансформируется, т.е. изменяется, теряя при этом часть влаги и, соответственно, прогреваясь летом и остывая зимой. Территория Нижегородского Правобережья располагается как раз на пути движения воздушных масс, где происходит трансформация воздуха. Морские воздушные массы теряют свои первоначальные свойства и на территории нашего региона их влияние несколько ослабевает. Трансформация этих воздушных масс еще не доходит до такой стадии, чтобы нельзя было говорить об участии атлантического воздуха в формировании местного климата. Вследствие даже небольшого потепления океана воздушные массы теперь оказываются более прогретыми и, поступая в наш регион, не успевают достаточно охладиться. Это в свою очередь приводит к частым оттепелям зимой и выпадению осадков в жидкой фазе. Влияние Атлантики придает климату Нижегородского Правобережья черты умеренной континентальности, что проявляется в теплом, но не жарком лете и слабо морозной зиме. Однако Нижегородская область – это значительно удаленный от океана регион, и степень континентальности климата здесь достаточно выражена в сравнении, например, с Западной Европой.

Материалы и методы

Для анализа были выбраны ключевые фенологические процессы и фенообъекты живой и неживой природы по сезонам. В весенний период фиксировались: первые проталины, начало весны, сход снежного покрова, появление листьев на березе, начало цветения черемухи, начало цветения сирени, последний заморозок на почве. Первые проталины регистрировались на открытых местах – пойменных лугах реки Тешы. За начало весны принимался устойчивый переход средней суточной температуры воздуха в городе через 0 °C в сторону повышения. Наблюдения за сходом снежного покрова проводились в окрестных лесных массивах Арзамаса. Наблюдения за появлением листьев на березе, цветением черемухи и сирени (обыкновенной) осуществлялись в городе. Последний заморозок на почве также фиксировался в пределах городской черты.

В летний период фиксировалась дата начала лета (устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха в городе через отметку +15 °C в сторону повышения) и велось наблюдение за двумя фенообъектами: шиповником и липой (отмечалось начало цветения).

В осенний сезон фиксировалась дата наступления осени (устойчивый переход средней суточной температуры воздуха, в городе, через отметку +15 °C в сторону понижения), а также первый заморозок, первый снег, первый снежный покров, окончание массового листопада и начало зимы (образова-

ние постоянного снежного покрова при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха в через 0°C к отрицательным значениям).

Результаты исследования

Тенденцию потепления климата в Нижегородском Правобережье подтверждают многолетние наблюдения, полученные для города Арзамаса, являющегося фактически географическим центром Нижегородского Правобережья (табл. 1, рис. 1).

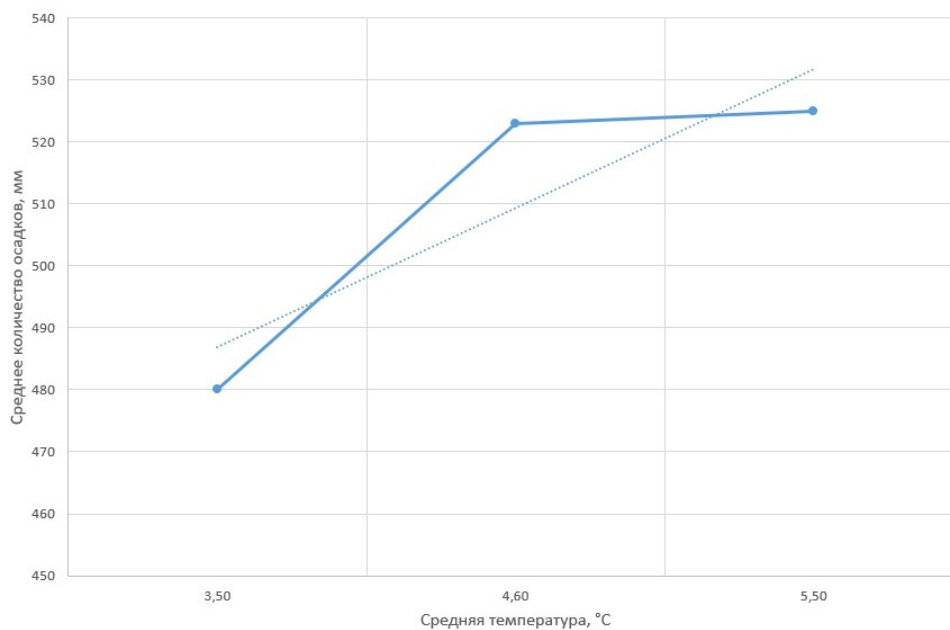


Рис. 1. Средняя месячная температура ($^{\circ}\text{C}$) и количество осадков (мм) для г. Арзамаса в период с XX в. по 2020 г.

В табл. 2 представлены средние месячные температуры воздуха и количество осадков за каждый месяц первых двадцати лет XXI в., на рис. 2 – график многолетнего хода среднегодовой температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) для г. Арзамаса.

Резюмируя вышеизложенное отметим, что климат Нижегородского Правобережья имеет все основные черты умеренной континентальности. При этом происходящие изменения климата в целом не повлияли на природные комплексы региона. Тем не менее полученные данные метеорологических наблюдений за последние 40 лет убедительно говорят о происходящем потеплении климата в Нижегородском Правобережье:

1. Существенно потеплели практически все месяцы холодного периода, с ноября по март. По сравнению с XX в. средние месячные температуры воздуха традиционно зимних месяцев в регионе выросли на $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$. Ноябрь приобрел черты типично осеннего месяца, когда довольно часто на фоне положительных температур отсутствует снежный покров. Месяц март все чаще по температурному режиму становится весенним месяцем (со среднемесячной температурой воздуха около 0°C или чуть выше). При этом, соответственно, заметно сократилась продолжительность зимнего сезона.

Таблица 1

Средняя месячная температура и количество осадков по месяцам для г. Арзамаса

Показатели	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя температура, °С	-12	-11	-5	4	12	17	19	17	11	4	-3	-8	3,5
осадки XX в. , мм	26	20	17	27	45	60	73	52	48	43	37	31	480 мм
Средняя температура, °С	-9	-10	-4	6	13	17	19	17	11	5	-3	-8	4,6
осадки 1981–2010 гг. , мм	33	27	24	28	39	69	69	57	49	49	40	39	523
Средняя температура, °С	-8	-7	-2	6	14	17	19	17	11	6	-1	-6	5,5
осадки 2001–2020 гг. , мм	35	25	27	36	44	68	61	66	48	49	33	33	525

Таблица 2

Средняя месячная температура воздуха и количество осадков по месяцам для г. Арзамаса (2001–2020 гг.)

Года	Показатели	Месяц												За год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2001	средняя температура, °С	-4	-6	-2	9	12	18	23	17	13	3	-1	-12	6,1
	количество осадков, мм	45	50	22	35	50	65	5	45	30	87	55	55	510
2002	средняя температура, °С	-7	-2	1	7	12	17	23	16	13	4	-2	-15	5,7
	количество осадков, мм	57	40	27	15	20	70	115	15	80	99	55	43	640
2003	средняя температура, °С	-8	-10	-6	5	15	13	22	19	12	6	1	-3	5,6
	количество осадков, мм	30	7	20	33	30	95	70	120	50	53	30	43	580
2004	средняя температура, °С	-7	-9	1	4	14	17	21	19	13	6	-2	-5	6,0
	количество осадков, мм	37	20	65	50	30	110	80	60	58	56	30	47	645
2005	средняя температура, °С	-5	-10	-8	5	16	17	19	18	13	6	1	-4	5,4
	количество осадков, мм	35	35	35	36	45	85	50	40	35	35	33	65	545
2006	средняя температура, °С	-14	-15	-5	6	13	20	18	18	13	6	-1	-2	4,5
	количество осадков, мм	25	25	35	25	50	60	75	60	80	45	87	35	600
2007	средняя температура, °С	-3	-13	2	5	16	17	20	22	12	7	-3	-7	5,9
	количество осадков, мм	50	45	15	27	33	37	100	30	90	42	40	25	545

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2008	средняя температура, °C количество осадков, мм	-11 35	-5 38	1 35	9 40	12 40	16 60	20 45	19 100	10 45	9 45	1 50	-3 15	6,2 550
2009	средняя температура, °C количество осадков, мм	-8 30	-6 10	-3 25	4 20	13 30	18 70	20 65	17 70	14 14	6 37	0 35	-8 25	5,5 435
2010	средняя температура, °C количество осадков, мм	-17 50	-10 25	-4 10	7 10	17 40	20 8	25 10	22 45	12 50	3 30	1 40	-9 110	5,6 440
2011	средняя температура, °C количество осадков, мм	-12 55	-14 25	-6 35	4 20	14 20	17 30	22 72	18 22	12 85	6 30	-3 45	-3 60	4,5 550
2012	средняя температура, °C количество осадков, мм	-9 30	-15 15	-5 25	8 50	15 45	17 37	21 40	18 110	12 55	7 75	1 30	-9 32	5,1 550
2013	средняя температура, °C количество осадков, мм	-9 42	-6 10	-8 45	5 50	15 38	19 48	19 100	18 52	11 140	6 55	3 25	-4 50	5,2 650
2014	средняя температура, °C количество осадков, мм	-12 23	-6 22	0 20	5 6	16 15	16 75	20 15	19 47	11 17	2 40	-3 20	-5 40	5,5 342
2015	средняя температура, °C количество осадков, мм	-8 20	-4 28	-2 1	5 40	15 10	18 120	18 50	15 50	14 40	3 37	0 40	-2 45	5,9 480
2016	средняя температура, °C количество осадков, мм	-11 80	-2 65	-1 50	8 120	13 30	17 15	20 55	20 55	10 60	4 20	-3 50	-8 25	5,6 630
2017	средняя температура, °C количество осадков, мм	-10 26	-6 25	1 15	6 43	11 45	14 46	18 168	18 43	12 62	5 40	0 58	-1 77	5,6 650
2018	средняя температура, °C количество осадков, мм	-7 26	-12 12	-9 23	6 48	15 13	16 30	20 132	18 31	13 47	6 43	-3 17	-7 25	4,7 435
2019	средняя температура, °C количество осадков, мм	-9 21	-4 30	-1 20	6 18	15 99	17 85	17 60	15 68	10 28	8 78	-1 5	-2 35	5,9 545
2020	средняя температура, °C количество осадков, мм	-2 34	-3 23	3 15	5 65	12 60	17 75	19 52	15 75	12 22	7 30	0 23	-9 13	6,3 490
XXI в. Среднее	средняя температура, °C количество осадков, мм	-8 35	-7 25	-2 27	6 36	14 44	17 68	19 59	17 66	11 48	6 49	-1 33	-6 33	5,5 520

Примечание. Жирным шрифтом выделены отклонения от средней многолетней нормы.

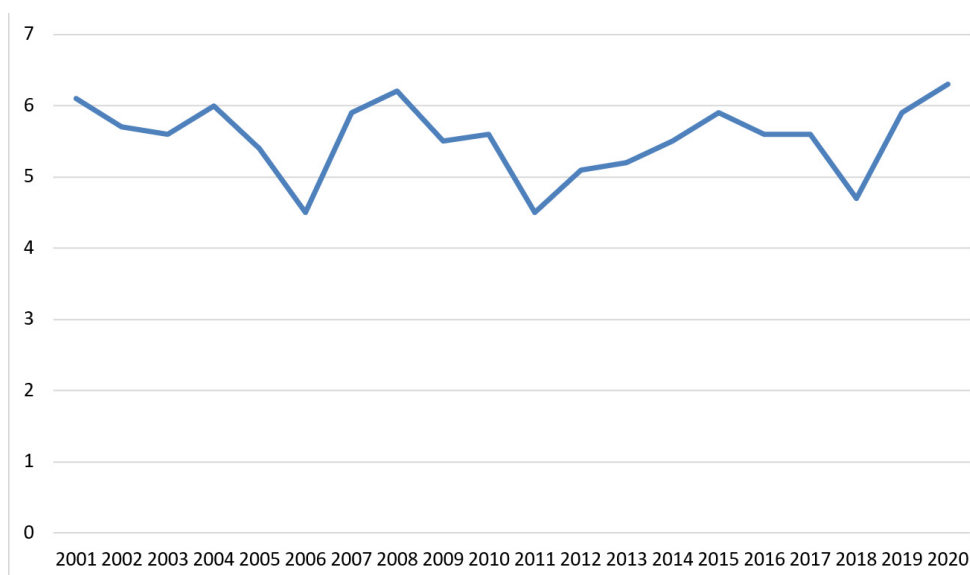


Рис. 2. График многолетнего хода среднегодовой температуры воздуха (°C) с 2001 по 2020 г. для г. Арзамаса

2. Обновились положительные температурные рекорды многих месяцев. Теперь абсолютный максимум температуры воздуха для города Арзамаса составляет $+40^{\circ}\text{C}$ (обновление произошло в июле 2010 г.), абсолютный максимум зимних месяцев превышает $+5^{\circ}\text{C}$.

3. Изменились сроки последнего заморозка, средняя дата его, теперь сместилась с конца на начало второй декады мая.

4. Наблюдается уменьшение размаха – разницы между среднемесячными температурами воздуха января и июля (вследствии существенного потепления января). Так, если в XX в. годовая амплитуда средних температур составляла 31°C , то теперь это значение снизилось до 27°C (см. табл. 2).

5. Вместе с повышением среднемесячных температур воздуха возросло количество осадков в холодные месяцы года (в среднем на 5–10 мм, при этом увеличилась доля осадков в жидкой фазе), что в свою очередь является прямым свидетельством участвовавшей повторяемости вторжения морского воздуха на территорию региона (см. табл. 2).

6. В результате более теплых зим и затяжных оттепелей мощность снежного покрова сократилась в среднем на 10–15 см, по сравнению с прошлым веком.

7. Изменилась картина выпадения максимальных и в меньшей степени наименьших сумм количества осадков за месяц. В прошлом веке наибольшее количество осадков выпадало в июле, теперь их максимум приходится на июнь или август. Март «разделил» название самого сухого месяца года с февралем.

8. Немного сместился в сторону повышения и коэффициент Высоцкого – Иванова (показатель численного соотношения годовых сумм осадков и испаряемости за год).

9. Циркуляционные процессы в атмосфере стали более активными. Наблюдается более частая смена одних циклонов другими – разных по про-

исхождению. Увеличилась доля средиземноморских циклонов. Резкие скачки атмосферного давления, особенно в холодный период, стали достигать 10–15 единиц за сутки. В теплый сезон возросла вероятность блокирующих антициклонов.

10. Произошло удлинение продолжительности теплого времени года и как следствие этого процесса – увеличение периода вегетации растений более чем на одну неделю.

О потеплении климата говорят не только статистические метеоданные, но и динамика фенологических процессов и динамика растительного покрова в Нижегородском регионе за последние полвека. Анализ процессов изменения общей картины зональности на территории региона позволили нижегородским ученым выявить феномен трансэкстразональности [20]. Другими словами, в условиях меняющегося климата (его потепления) на территориях с интенсивными антропогенными нарушениями происходит продвижение южных, в нашем случае степных, видов, в более северные природные подзоны. При этом наблюдается одновременный процесс сокращения ареалов бореальной растительности, внедрение в лесные сообщества представителей степного ценоэлемента.

Изменения климата в регионе коснулись и динамики фенологических процессов. Как известно, из всех факторов среды наибольшее влияние на фенологические процессы оказывает климат. Источником энергии для развития растений является солнечная радиация, которая является определяющей в температурном режиме региона и зависит от географической широты. Для растений основным источником тепла является температура окружающей среды, а ход изофен в значительной мере обусловлен температурными условиями. Любые изменения солнечной радиации и температуры воздуха влекут за собой изменения в развитии растений. При этом следует иметь в виду, что солнечная радиация – это не только тепло, но и солнечный свет, поступление которого зависит также от состояния облачности и продолжительности дня.

Заметное влияние на фенологические процессы оказывает и смена воздушных масс. Развитие растений весной ускоряется под влиянием вторжения теплых воздушных масс. Так, увеличение повторяемости вторжения южных циклонов весной приводит к более раннему снеготаянию в регионе и прогреву деятельной поверхности. Это в свою очередь ведет к ускорению оттаивания и прогреву почвы. Все фенологические фазы в почве или близ ее поверхности находятся под непосредственным влиянием температуры почвы. Преждевременный прогрев почвы ускоряет в особенности цветение низких растений, незначительно поднимающихся над поверхностью почвы (большинство первоцветов). Более раннему весеннему развитию растений способствует и тот факт, что в последние десятилетия снег в Нижегородском Правобережье ложится на незамерзшую почву. В этом случае определенное количество тепла в почве сохраняется и растения при благоприятных условиях весной начинают раньше вегетировать. Влияет на фенологические процессы и количество выпадающих осадков. Обилие осадков может вызывать за поздание созревания семян и плодов растений. В дождливую погоду естественно температура понижается и замедляется процесс созревания. Кроме того, обилие осадков само по себе при равных температурных условиях не-

сколько задерживает созревание. Особенно заметно на условия увлажнения реагирует процесс пожелтения листьев и листопад. Продолжительность листопада также зависит от интенсивности ветра.

При выявлении динамики фенологических процессов и явлений нами был проанализирован период с 2001 по 2020 г., когда заметно стало проявляться потепление климата в Нижегородском Правобережье, в частности на территории Арзамасского региона.

Появление первых проталин весной, как правило, становится возможным уже с началом положительных дневных температур воздуха при свободной солнечной инсоляции, даже при сохранении еще отрицательного среднесуточного фона температур. Анализ весенних наблюдений показывает, что данный фенологический процесс стал происходить в среднем на неделю раньше по сравнению с XX в. (табл. 3). Начало весны также сместилось к более ранним срокам. Теперь почти на целую декаду раньше весна приходит в Нижегородское Правобережье (середина II декады марта). Более раннее начало весенних процессов обуславливает заметно более ранний срок схода снежного покрова в регионе. В новом столетии средняя дата схода снежного покрова приходится на 6 апреля. На 2–3 дня раньше по сравнению с прошлым веком раскрываются листья березы, зацветают черемуха, а за ней и сирень (табл. 3).

Результаты наблюдения показывают, что сроки наступления лета по сравнению с XX в. почти не изменились и совпадают практически с календарем (2 июня). Фактически мало изменилась средняя дата начала цветения шиповника, а вот липа зацветает почти на неделю раньше многолетних сроков. Теперь ее цветение приходится на конец июня, тогда как еще тридцать лет назад это происходило в первой декаде июля. Изменение сроков цветения липы, вероятно, обусловлено более высокими температурами воздуха и почвы в первой половине теплого июня (табл. 4, рис. 3).

Анализ наблюдений показывает, что сроки наступления осени мало изменились по сравнению с прошлым веком. В наступившем столетии осень приходит в среднем на три дня позднее. Практически не изменилась дата первого заморозка – 22 сентября. Гораздо заметнее, с запаздыванием на декаду отмечается первый снег и образуется первый снежный покров. Причем в редких случаях (раз в 10–12 лет) выпадение первого снега и образование при этом снежного покрова совпадают. Окончание массового листопада у большинства местных видов деревьев, включая поздноопавающие дуб и березу, происходит, как и прошлым веком, в середине третьей декады октября.

Малоизменившиеся средние сроки наступления осени, первого заморозка, окончания листопада, продолжительности осени (рис. 4) вероятно следует объяснить относительной стабильностью осенних погодноклиматических процессов, практически неизменившихся в последние десятилетия (см. средние месячные температуры воздуха сентября и октября, табл. 2). Что касается других фенологических процессов межсезонья, то средняя дата начала зимы сместилась с 25 ноября в XX в. на 2 декабря в новом столетии (табл. 5).

Причиной столь существенного смещения сроков первого снега и наступления зимы считаем активизацию западных атлантических и южных средиземноморских циклонов в холодный период.

Таблица 3
Весенние фенологические явления и даты их наступления для г. Арзамаса

Год	Фенофаза						
	Первые проталины	Начало весны	Сход снежного покрова	Появление листьев на березе	Начало цветения черемухи	Начало цветения сирени	Последний заморозок на почве
2001	6 апреля	12 марта	19 апреля	24 апреля	30 апреля	7 мая	14 апреля
2002	7 марта	10 марта	14 апреля	24 апреля	2 мая	10 мая	27 мая
2003	14 марта	29 марта	20 апреля	6 мая	14 мая	22 мая	31 мая
2004	1 марта	13 марта	14 апреля	4 мая	11 мая	23 мая	23 мая
2005	5 апреля	2 апреля	19 апреля	5 мая	11 мая	20 мая	27 апреля
2006	30 марта	29 марта	17 апреля	4 мая	14 мая	24 мая	19 мая
2007	15 марта	4 марта	29 марта	28 апреля	10 мая	19 мая	4 мая
2008	4 марта	24 февраля	30 марта	12 апреля	29 апреля	11 мая	9 июня
2009	27 марта	29 марта	15 апреля	4 мая	8 мая	14 мая	25 апреля
2010	29 марта	28 марта	10 апреля	25 апреля	5 мая	9 мая	28 апреля
2011	8 апреля	3 апреля	23 апреля	4 мая	16 мая	22 мая	14 мая
2012	2 апреля	30 марта	18 апреля	23 апреля	1 мая	9 мая	7 апреля
2013	7 апреля	1 апреля	22 апреля	5 мая	10 мая	14 мая	2 мая
2014	7 марта	9 марта	10 апреля	30 апреля	4 мая	13 мая	4 мая
2015	15 марта	27 февраля	17 апреля	1 мая	11 мая	17 мая	10 мая
2016	18 марта	27 марта	12 апреля	26 апреля	3 мая	11 мая	24 мая
2017	6 марта	1 марта	9 апреля	30 апреля	4 мая	21 мая	29 мая
2018	1 апреля	4 апрел	15 апреля	3 мая	7 мая	15 мая	11 июня
2019	12 марта	9 марта	10 апреля	27 апреля	6 мая	11 мая	21 мая
2020	21феврал	17 февраля	26 марта	4 мая	6 мая	19 мая	22 мая
Среднее	15марта	14март	6 апреля	28 апреля	7 мая	16 мая	14 мая

Таблица 4

Летние фенологические явления и даты их наступления

Год	Фенофаза		
	Начало лета	Начало цветения шиповника	Начало цветения липы
2001	5 июня	30 мая	27 июня
2002	2 июня	30 мая	2 июля
2003	21 июня	30 мая	8 июля
2004	6 июня	4 июня	4 июля
2005	18 мая	27 мая	28 июня
2006	31 мая	3 июня	29 июня
2007	16 мая	24 мая	27 июня
2008	11 июня	20 мая	29 июня
2009	28 мая	30 мая	24 июня
2010	3 мая	16 мая	21 июня
2011	29 мая	1 июня	29 июня
2012	6 мая	21 мая	19 июня
2013	25 мая	27 мая	19 июня
2014	11 мая	21 мая	18 июня
2015	23 мая	30 мая	23 июня
2016	26 мая	24 мая	24 июня
2017	24 июня	11 июня	9 июля
2018	16 июня	30 мая	28 июня
2019	27 мая	27 мая	18 июня
2020	4 июня	3 июня	2 июля
Средн.	2 июня	31 мая	29 июня

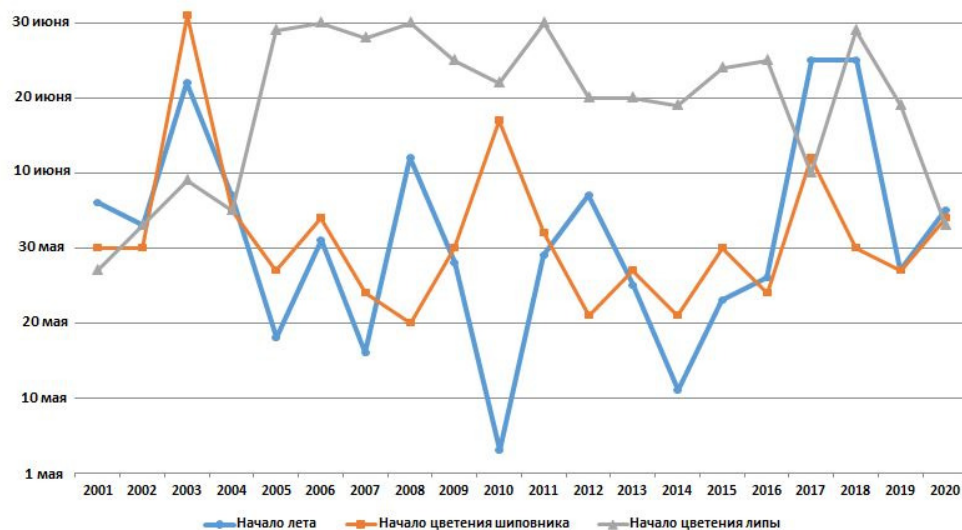


Рис. 3. Летние фенологические явления и даты их наступления в период с 2001 по 2020 г.

Учитывая тот факт, что поверхность океана стала несколько теплее, морские воздушные массы, доходя до территории Нижегородского Правобережья, не успевают трансформироваться, в данном случае остыть.

Таблица 5
Осенние фенологические явления и даты их наступления для г. Арзамаса

Год	Начало осени	Первый заморозок на почве	Первый снег	Первый снежный покров	Конец листопада	Начало зимы
2001	25 августа	27сентября	13 октября	13 октября	23 октября	27 ноября
2002	12сентября	13сентября	3 октября	8 октября	24 октября	23 ноября
2003	3 сентября	22сентября	22 октября	22 октября	24 октября	1 декабря
2004	5 сентября	13 октября	11 октября	31 октября	25 октября	26 ноября
2005	31 августа	21сентября	19 октября	26 октября	23 октября	2 декабря
2006	6 сентября	27сентября	16 октября	30 октября	23 октября	19 декабря
2007	30 августа	12 октября	15 октября	5 ноября	27 октября	10 ноября
2008	31 августа	17сентября	27сентября	19 ноября	18 октября	23 декабря
2009	17сентября	1 октября	30 октября	30 октября	23 октября	9 декабря
2010	5 сентября	5 сентября	13 октября	30 октября	29 октября	28 ноября
2011	4 сентября	22сентября	16 октября	8 ноября	30 октября	9 ноября
2012	21 августа	8 октября	24 октября	25 октября	21 октября	4 декабря
2013	3 сентября	27сентября	1 октября	1 октября	25 октября	28 ноября
2014	26 августа	17сентября	2 октября	20 октября	23 октября	29 ноября
2015	16 августа	4 октября	7 октября	8 октября	29 октября	27 декабря
2016	1 сентября	12сентября	22 октября	30 октября	28 октября	28 ноября
2017	28 августа	23сентября	21 октября	28 октября	25 октября	26 ноября
2018	17сентября	18сентября	28 октября	28 октября	26 октября	23 ноября
2019	25 августа	31 августа	22сентября	30 октября	20 октября	30 декабря
2020	9 сентября	17сентября	20 октября	10 ноября	23 октября	23 ноября
Среднее	3 сентября	22сентября	18 октября	28 октября	24 октября	2 декабря

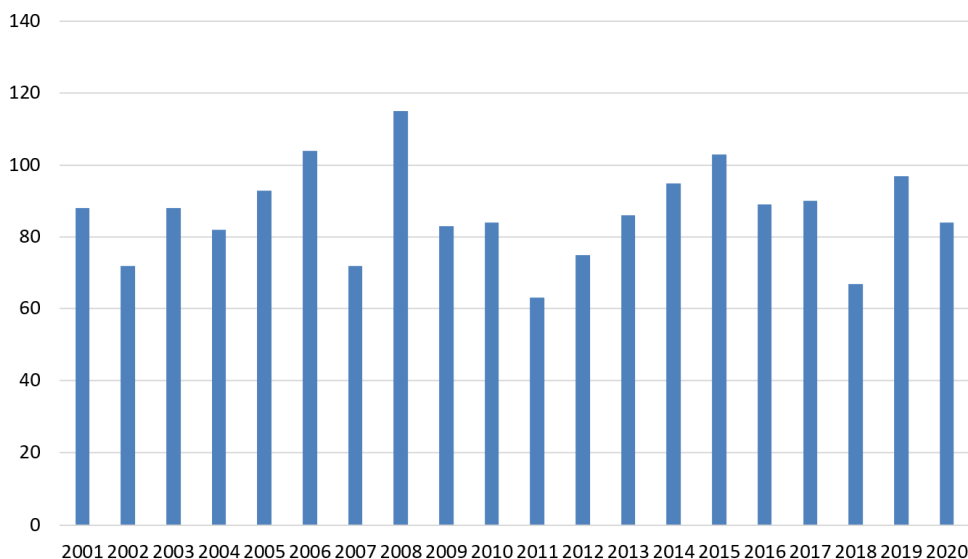


Рис. 4. График продолжительности осени (в днях) в г. Арзамасе за 2001–2020 гг.

Температура таких воздушных масс зимой остается положительной и осадки, естественно, выпадают в жидкой фазе. По той же причине в холодный сезон увеличилась повторяемость ледяных дождей, дождей и мороси.

Заключение

Таким образом, очевидным становится факт смещения сроков наступления фенологических процессов в регионе. В целом сократился примерно на две недели зимний сезон. Весенние процессы в XXI столетии начинаются с опережением средних многолетних сроков по сравнению с прошлым веком в среднем на 3–5 суток: начало активного снеготаяния, сход снежного покрова, начало цветения большинства растений, ускорились и летние фенологические процессы. Раньше обычного (на 3–6 суток) происходит созревание ягодных, овощных и плодовых культур. Особенно существенной оказалась динамика осенне-зимних фенологических процессов. С заметным опозданием отмечается первый снег, первый снежный покров, образование устойчивого снежного покрова (начало зимы) и т.п.

Такой сдвиг фенологических процессов, весной в сторону более раннего их наступления, а осенью в сторону запаздывания, обусловлено меняющимися климатическими условиями. Глобальное потепление как бы «переносит» нас на 200–300 км южнее, при этом делая наши зимы по-европейски мягкими.

Проведенный нами анализ погодно-климатических условий Арзамасского региона на рубеже XX–XXI вв., позволяет предположить, что тенденция потепления местного климата в ближайшие годы скорее всего сохранится, что, безусловно, не может не отражаться на сезонной ритмике живых организмов и в целом на динамике фенологических процессов в регионе. Анализ весенних наблюдений показывает, что данный фенологический процесс стал происходить в среднем на неделю раньше по сравнению с XX в. (см. табл. 3). Сроки наступления лета по сравнению с XX в. почти не измени-

лись и совпадают практически с календарем (2 июня). Сроки наступления осени и наступления первых заморозков мало изменились по сравнению с прошлым веком.

Список литературы

1. Переведенцев Ю. П., Верещагин М. А., Наумов Э. П. [и др.]. Современные изменения климата Северного полушария Земли // Ученые записки Казанского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2005. Т. 147, № 1. С. 90–106.
2. Byshev V. I., Neiman V. G., Romanov Yu. On the essential differences between the large-scale variations of the surface temperature over the oceans and continents // *Oceanology*. 2006. Vol. 46. P. 147–158.
3. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). IPCC. Geneva, 2014. 151 p.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации : техническое резюме. М. : Росгидромет, 2014. 93 с.
5. Кузнецова В. П. Фенологические процессы в условиях изменения климата северных территорий (на примере таежной зоны Ханты-Мансийского автономного округа – Югры) : дис. ... к.г.н. Нижневартонск, 2016. 225 с.
6. Биненко В. И., Донченко В. К., Малинин В. Н. [и др.]. Киотский протокол и некоторые аспекты современного изменения климата (по результатам научных чтений, посвященных 95-летию академика РАН К. Я. Кондратьева) // Региональная экология. 2015. № 2. С. 3–15.
7. Храпов П. В., Канибер В. В. Сравнительный анализ климатических изменений в Антарктике и Арктике // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Т. 7, № 8. С. 32–43.
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М. : Росгидромет, 2020. 97 с.
9. Соколов Л. В. Климат в жизни растений и животных. СПб., 2010. 344 с.
10. Минин А. А. Некоторые аспекты взаимосвязей наземных экосистем с изменяющимся климатом // *Успехи современной биологии*. 2011. Т. 131, № 4. С. 407–415.
11. Richardson A. D., Keenana T. F., Migliavacca M. [et al.]. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013. Vol. 169. P. 156–173.
12. Menzel A., Yuan Y., Matiu M. [et al.]. Climate change fingerprints in recent European plant phenology // *Global Change Biology*. 2020. Vol. 26. P. 2599–2612.
13. Estrella N., Sparks T., Menzel A. Effects of temperature, phase type and timing, location, and human density on plant phenological responses in Europe // *Climate Research*. 2009. Vol. 39, № 3. P. 235–248.
14. Ault T., Macalady A., Schwartz M. [et al.]. Climatic drivers and constraints of phenological change // Conference Themes and Plenary Speakers Phenology 2012. Future Climate and the Living Earth (September 10–13). 2012. URL: <https://www4.uwm.edu/letsai/conferences/phenology2012/presentations/ault.pdf>
15. Kozlov M. B., Berlina H. G. Decline in length of the summer season on the Kola peninsula, Russia // *Climatic Change*. 2002. Vol. 54. P. 387–398.
16. Терентьев А. А., Колкутин В. И. Климат конца XX века в средней полосе Нижегородской области. Н. Новгород, 2004. 372 с.
17. Терентьев А. А., Колкутин В. И., Панютин А. А. Климат Нижнего Новгорода в XX веке и начале XXI века. Н. Новгород, 2011. 280 с.
18. Любов М. С. Природно-климатические условия Арзамасского региона : монография. Н. Новгород : Арзамасский филиал ННГУ, 2019. 106 с.

19. Климат Нижнего Новгорода / под ред. Ц. А. Швер, С. В. Рязановой. Л. : Гидрометеиздат, 1991. 167 с.
20. Ибрагимов А. К., Ануфриев Г. А., Терентьев А. А. О феномене трансэкстразональности // Вестник ННГУ им. Н. И. Лобачевского. Сер.: Биология. 2007. Вып. 2. С. 141–145.

References

1. Perevedentsev Yu.P., Vereshchagin M.A., Naumov E.P. et al. Modern climate changes in the Northern hemisphere of the Earth. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki = Proceedings of Kazan State University. Series: Natural sciences*. 2005;147(1):90–106. (In Russ.)
2. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu. On the essential differences between the large-scale variations of the surface temperature over the oceans and continents. *Oceanology*. 2006;46:147–158.
3. Pachauri R.K., Meyer L.A. (eds.). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, 2014:151.
4. *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii: tekhnicheskoe rezyume = The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation: technical summary*. Moscow: Rosgidromet, 2014:93. (In Russ.)
5. Kuznetsova V.P. *Phenological processes in the conditions of climate change in the northern territories (by the example of the taiga zone of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Yugra)*. PhD dissertation. Nizhnevartovsk, 2016:225. (In Russ.)
6. Binenko V.I., Donchenko V.K., Malinin V.N. et al. The Kyoto Protocol and some aspects of modern climate change (according to the results of scientific readings, dedicated to the 95th anniversary of K. Ya. Kondratiev academician of the Russian Academy of Sciences). *Regional'naya ekologiya = Regional ecology*. 2015;(2):3–15. (In Russ.)
7. Khrapov P.V., Kaniber V.V. Comparative analysis of climate change in the Antarctic and the Arctic. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019;7(8):32–43. (In Russ.)
8. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2019 god = Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019*. Moscow: Rosgidromet, 2020:97. (In Russ.)
9. Sokolov L.V. *Klimat v zhizni rasteniy i zhivotnykh = Climate in the life of plants and animals*. Saint Petersburg, 2010:344. (In Russ.)
10. Minin A.A. Some aspects of the relationship of terrestrial ecosystems with a changing climate. *Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in modern biology*. 2011;131(4):407–415. (In Russ.)
11. Richardson A.D., Keenana T.F., Migliavacca M. et al. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013;169:156–173.
12. Menzel A., Yuan Y., Matiu M. et al. Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*. 2020;26:2599–2612.
13. Estrella N., Sparks T., Menzel A. Effects of temperature, phase type and timing, location, and human density on plant phenological responses in Europe. *Climate Research*. 2009;39(3):235–248.
14. Ault T., Macalady A., Schwartz M. et al. Climatic drivers and constraints of phenological change. *Conference Themes and Plenary Speakers Phenology 2012. Future Climate and the Living Earth (September 10–13)*. 2012. Available at: <https://www4.uwm.edu/letsci/conferences/phenology2012/presentations/ault.pdf>
15. Kozlov M.B., Berlina H.G. Decline in length of the summer season on the Kola peninsula, Russia. *Climatic Change*. 2002;54:387–398.

16. Terent'ev A.A., Kolkutin V.I. *Klimat kontsa XX veka v sredney polose Nizhegorodskoy oblasti = The climate of the late 20th century in the middle zone of Nizhny Novgorod region*. Nizhny Novgorod, 2004:372. (In Russ.)
17. Terent'ev A.A., Kolkutin V.I., Panyutin A.A. *Klimat Nizhnego Novgoroda v XX veke i nachale XXI veka = The climate of Nizhny Novgorod in the 20th century and the beginning of the 21st century*. Nizhny Novgorod, 2011:280. (In Russ.)
18. Lyubov M.S. *Prirodno-klimaticheskie usloviya Arzamasskogo regiona: monografiya = Natural and climatic conditions of Arzamas region: monograph*. Nizhny Novgorod: Arzamasskiy filial NNGU, 2019:106. (In Russ.)
19. Shver Ts.A., Ryazanova S.V. (eds.). *Klimat Nizhnego Novgoroda = Climate of Nizhny Novgorod*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991:167. (In Russ.)
20. Ibragimov A.K., Anufriev G.A., Terent'ev A.A. On the phenomenon of trans-extrazonal. *Vestnik NNGU im. N.I. Lobachevskogo. Ser.: Biologiya = Bulletin of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. Series: Biology*. 2007;(2):141–145. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Сергеевич Любов

кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры биологии, географии
и химии, Арзамасский филиал
Национального исследовательского
Нижегородского государственного
университета имени Н. И. Лобачевского,
(Россия, Нижегородская область,
г. Арзамас, ул. К. Маркса, 36)

E-mail: lubov.arz@mail.ru

Mikhail S. Lyubov

Candidate of pedagogical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of biology,
geography and chemistry, Arzamas
branch of Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(36 Karla Marksa street, Arzamas,
Nizhny Novgorod region, Russia)

Ольга Ивановна Недосеко

доктор биологических наук, доцент,
заведующий кафедры биологии,
географии и химии, Арзамасский филиал
Национального исследовательского
Нижегородского государственного
университета имени Н. И. Лобачевского,
(Россия, Нижегородская область,
г. Арзамас, ул. К. Маркса, 36)

E-mail: nedoseko@bk.ru

Ol'ga I. Nedoseko

Doctor of biological sciences, associate
professor, head of the sub-department
of biology, geography and chemistry,
Arzamas branch of Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(36 Karla Marksa street, Arzamas,
Nizhny Novgorod region, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 27.10.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 13.12.2022

Принята к публикации / Accepted 16.12.2022