

УДК 630*181.8+635.054

UDC 630*181.8+635.054

03.00.00 Биологические науки

Biological sciences

**ФЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ Г. ТОМСКА**

**FENOLOGICAL VARIABILITY OF TREES AND
SHRUBS IN TOMSK**

Николаева Светлана Александровна
к.б.н.

Nikolaeva Svetlana Aleksandrovna
Cand.Biol.Sci.

РИНЦ SPIN-код: 7457-4170
sanikol1@rambler.ru

RSCI SPIN-code: 7457-4170
sanikol1@rambler.ru

*Институт мониторинга климатических и
экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological
Systems SB RAS, Tomsk, Russia*

Проведен анализ фенологических явлений у 9 видов деревьев и кустарников и продолжительности их вегетации в г. Томске (юго-восток Западно-Сибирской равнины). Установлено, что с 1969 по 2013 гг. начало фенологических явлений у изученных видов сдвинулись на более ранние сроки, а окончание – на более поздние. Тренды начала сокодвижения и цветения оказались выше (–2,5–3,4 дня/10 дней), чем таковые облиствления, пожелтения и листопада деревьев и кустарников (+0,3–1,3 дня/10 дней). Сроки начала фенофаз деревьев и кустарников тесно связаны с суммами накопленных положительных температур к их началу. Период общей вегетации древесных растений увеличился на 20 дней, а активной вегетации – на 7 дней

The analysis of phenological phenomena of 9 tree and shrub species and longevity of their vegetation activity was made in Tomsk (southeastern West Siberian Plain). Since 1969 until 2013 the start of the phenological phenomena in the trees and shrubs became to be earlier and the end did to be later. Trends of the start of birch juice moving and flowering is higher (–2.5–3.4 days/decade) than trends of leaf appearance, yellowing and falling (+2.5–1.3 days/decade) in the trees and shrubs. Dates of the start of the phenological stages and the sums of accumulated positive temperatures high correlate between each other. The period of their general vegetation activity increased by 20 days and active vegetation activity did by 7 days

Ключевые слова: ФЕНОЛОГИЯ, КЛИМАТ, ГОРОДСКИЕ НАСАЖДЕНИЯ, ТОМСК

Keywords: PHENOLOGY, CLIMATE, CITY FORESTS, TOMSK

И гроздь ярых гроз,
И свет небес бездонных
Мы любим потому
Все глубже и сильней,
Что знаем: трепет их
Не унести в ладонях,
А в нем-то и живет
Очарованье дней!

Н. Рыленков

Введение

Фенологические индикаторы, т.е. легко и точно регистрируемые сезонные явления природы, указывают на наступление или приближение практически важных, но трудно фиксируемых моментов годового цикла природы [14]. Повышенный интерес к фенологии растений в последние десятилетия связан с исследованиями в области глобальных изменений климата. Анализ трендов в периодических событиях растительного мира может выступать и как биоиндикатор климатических изменений, и как

количественный показатель воздействия потепления на биосистемы. Современное глобальное потепление климата отразилось на сроках наступления сезонных явлений в жизни биоты на всех континентах Северного полушария. Но для Азиатской части территории России ощущается недостаток данных фенологического мониторинга [2, 9, 13].

Фенологические наблюдения в г. Томске и его окрестностях проводились с середины XIX в. по настоящее время [4]. На их основе было создано несколько календарей природы [3, 10–11 и др.], которые представляют собой сводки среднегодовых сроков различных сезонных явлений, расположенных в порядке их наступления. Анализ трендов изменчивости этих явлений в связи с изменчивостью внешних факторов в них отсутствует.

Цель статьи – рассмотреть тренды изменчивости фенологических явлений и продолжительности вегетации деревьев и кустарников в городских насаждениях г. Томска в связи с климатическими изменениями.

Материалы и методы

Томск находится на юго-востоке Западно-Сибирской равнины на стыке южной тайги и подтайги. Непрерывные метеорологические ряды наблюдений в г. Томске имеются с 90-х годов XIX в. Среднегодовая температура воздуха составляет минус 0,6 °С, июля – 18,1 °С, января – минус 19,2 °С. Годовое количество осадков – 517 мм, большая часть которых выпадает в теплую половину года. Среднесуточные температуры воздуха переходят через 0° в начале апреля, через 5° – в начале мая. Устойчивый снежный покров устанавливается 30–31 октября, разрушается 18–22 апреля [1, 10 и др.]. С 1970-х гг. наблюдаются тенденции увеличения среднегодовых температур воздуха в основном за счет зимних температур, и с 1950-х гг. – годовых сумм осадков.

В данной работе использовались непрерывные ряды фенологических наблюдений¹ с 1969 по 2013 гг. за аборигенными древесными растениями Академгородка. Он расположен в восточной части г. Томска, где имеются массивы березового и соснового леса. В данной статье использовались следующие сезонные явления: начало сокодвижения и облиствления, появление первых желтых крон и окончание листопада березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth); начало облиствления черемухи обыкновенной (*Padus avium* Mill.); начало цветения ивы пепельно-серой (*Salix cinerea* L.), черемухи обыкновенной, рябины обыкновенной (*Sorbus sibirica* Hedl.), боярышника кроваво-красного (*Crataegus sanguinea* Pall.) шиповников иглистого и майского (*Rosa acicularis* Lindl. и *R. majalis* Herzm.), калины обыкновенной (*Viburnum opulus* L.), малины обыкновенной (*Rubus idaeus* L.) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.). Наблюдения велись классическими методами.

Кроме того, проведен расчет продолжительности двух периодов вегетации растений: (1) общей, за границы которой были приняты начало сокодвижения и окончание листопада березы, и (2) активной вегетации с границами между началом облиствления и появлением первых желтых крон у березы.

Также использовались данные метеостанции Томск, по которым были рассчитаны суммы положительных температур, накопленных к середине или концу месяца.

Результаты и обсуждение

Последовательно проходящие фенофазы определенных древесных видов являются индикаторами начала фенологических сезонов и

¹ Данные по сезонным явлениям у деревьев и кустарников г. Томска предоставлены томским фенологом Валентином Григорьевичем Рудским (02.VIII.1926–07.IV.2015).

субсезонов года. Например, начало сокодвижения у березы диагностирует начало второго субсезона весны (голая весна, когда оживает вся природа), а окончание листопада у березы – начало второго субсезона осени (предзимье). [11]. Сравнение фенофаз этих деревьев и кустарников Академгородка с развитием травяного яруса [6] и подроста кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) [5, 7] в березово-сосновых сообществах, расположенных в 12 км к западу от г. Томска, за 11 лет (2002–2012 гг.) показало, что они наступают сопряжено.

Сроки начала сокодвижения у березы (диагностируют начало 2-го субсезона весны – голая весна) близки к срокам схода снега в поле (рис.1, 1–2). В это время в лесу появляются проростки трав, а у подроста кедра начинается набухание почек. С началом облиствления березы, т.е. когда молодые листочки развернулись (3-й субсезон весны – зеленая весна), виды травяного яруса и осевые части побегов подроста кедра переходят к интенсивному росту, а во второй половине субсезона – хвои.

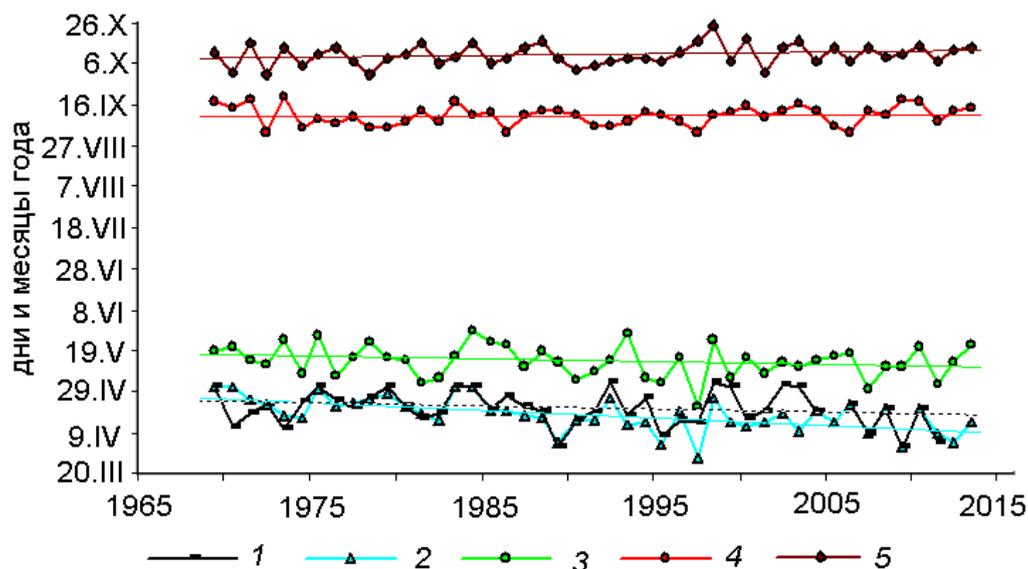


Рис. 1. Динамика схода снега в поле (1) фенологических явлений у березы бородавчатой (2–5) в г. Томске.

Фенофазы березы: 2 – начало сокодвижения, 3 – начало облиствления, 4 – первые желтые деревья, 5 – конец листопада.

С зацветанием шиповника (1-й субсезон лета – начало лета) покрытие, высота и количество цветущих видов травяного яруса в лесу достигают своих максимальных величин, у кедра заканчивается интенсивный рост стеблей и интенсивно растет хвоя. С созреванием плодов красной смородины и зацветанием липы (2-й субсезон лета – жаркое лето) травяной покров сохраняет свои максимальные размеры, подрост кедра переходит к летней вегетации.

С появлением первых полностью окрашенных крон берез (1-й субсезон осени – начало осени) высота и покрытие травяного яруса снижаются в 1,5–3 раза по сравнению с таковыми в середине лета. К концу листопада березы (3-й субсезон осени – предзимье) все летнее-зеленые древесные виды находятся в фазе зимнего покоя, вечнозеленые, в том числе и подрост кедра, – в состоянии перехода к ней. Травяной покров практически полностью засыхает.

Таким образом, период между началом сокодвижения и концом листопада березы характеризует границы вегетации большинства древесных и травянистых растений умеренных широт (общая вегетация). Период между облиствлением и появлением полностью окрашенных крон березы – границы вегетации, когда большинство растений фотосинтезирует и возможно накопление органического вещества (активная вегетация).

В изменении сроков начала фенофаз и направленности трендов у исследованных видов деревьев и кустарников наблюдается хорошая согласованность (рис. 1). За 45 лет наблюдений фенологические явления, диагностирующие начало субсезонов весны (голая и зеленая весна, предлетье) и начала лета (начало и жаркое лето), стали наступать раньше, а явления конца лета (спад лета) и осени (начало и золотая осень, предзимье) – практически не изменились или стали приходить незначительно позже [8].

Рассмотрим более детально динамику сроков наступления фенофаз деревьев и кустарников за последние 45 лет. Наибольшие изменения этих сроков отмечаются для начала сокодвижения березы и цветения изученных видов (тренд составляет $-2,5-3,4$ дня/10 лет), наименьшие – для облиствения березы и черемухи, первых желтых кроны и конца листопада березы ($+0,3-1,3$ дня/10 лет) (табл.). В целом за этот период сроки начала фенофаз сдвинулись на 9–17 дней и 1,5–6 дней соответственно. Следовательно, такие фенофазы как сокодвижение и цветение более чутко реагируют на тренды изменения внешних факторов по сравнению с фенофазами, отражающими изменения фотосинтетического аппарата древесных растений.

Таблица
Изменение сроков начала фенофаз у древесных видов в 1969–2013 гг.

Древесный вид (фенофаза)	Начало фенофазы	Тренд начала фенофазы, дней/10 лет	r^{**}	Дата ΣT	Тренд ΣT , С°/10 лет
Береза (начало сокодвиж.)	17.IV	-3,6	-0,79	15.IV	5,3
Черемуха (начало облиств.)	29.IV	-1,2	-0,84	30.IV	7,5
Ива (начало цвет.)*	3.V	-2,3	-0,88		
Береза (начало облиств.)	13.V	-1,3	-0,85	15.V	19,6
Черемуха (начало цвет.)	22.V	-3,7	-0,88	31.V	31,8
Рябина (начало цвет.)	3.VI	-2,6	-0,96		
Боярышник (начало цвет.)*	5.VI	-3,0	-0,72		
Шиповник (начало цвет.)	12.VI	-2,9	-0,74	15.VI	41,8
Калина (начало цвет.)	13.VI	-2,7	-0,80		
Малина (начало цвет.)*	19.VI	-3,4	-0,72		
Липа (начало цвет.)*	5.VII	-2,0	-0,84	30.VI	37,6
Береза (желт. кроны)	10.IX	+0,3	+0,13	31.VIII	40,7
Береза (конец лист.)	10.X	+0,9	-0,01		

Фенофазы: начало сок. – начало сокодвижения, начало цвет. – начало цветения, начало облиств. – начало облиствения, желт. кроны – первые желтые кроны, конец лист. – конец листопада.

r – коэффициент корреляции начала фенофазы растения с ΣT ; ΣT – сумма положительных температур, накопленных к определенной дате (середина или конец месяца). * использовался неполный ряд данных ($n=34-36$); ** при $P=0,999$.

К внешним факторам, влияющим на сроки наступления сезонных явлений живой природы в умеренном и холодном климатических поясах,

являются термический режим и фотопериод [2, 12, 14 и др.]. Если учитывать, что продолжительность фотопериода за время исследования не изменилась, то на ежегодные флуктуации и тренды сроков фенологических явлений скорее всего влияет термический режим.

Для определения момента начала вегетации растений достаточно часто предлагается использовать метод накопленных положительных температур. При этом сумма положительных среднесуточных температур на определенную дату может характеризовать погодную ситуацию сезона. [9 и др.]. Все тренды расчетных значений сумм таких температур положительные. Наименьшие их тренды характерны для апреля (+5,3–7,5 °C/10 лет), начиная с мая величина этих трендов растет, достигая максимума в середине июня (+41,8 °C/10 лет), к концу сезона их величины незначительно снижаются (табл.). Но следует отметить, что тренд суммы положительных температур, накопленных к определенной дате, за 45 лет наблюдений существенно выше, чем тренды начала соответствующих фенофаз деревьев и кустарников.

Между началом той или иной фенофазы у растений и суммами накопленных положительных температур получена тесная достоверная связь – $r = -0,72-0,96$ (табл.). Чем больше сумма таких температур к моменту начала соответствующей фенофазы, тем раньше она начинается. Эта связь сохраняется вплоть до начала цветения липы. Наступление осенних фенофаз (появление желтых крон, конец листопада) уже не определяется суммами этих температур.

Продолжительность общей вегетации растений за 45 лет увеличилась на 19,6 дня (с 166 до 186 дней, среднее – 176), а активной вегетации – на 7,2 дня (с 116 до 123 дней, среднее – около 120) (рис.2, 1–2). Их тренд составил +4,4 и +1,6 дня/10 лет соответственно. Их увеличение происходило в основном за счет более раннего наступления весенних фенофаз. Продолжительность безморозного периода на юге Томской

области за это же время увеличилась на 13,5 дней (со 115 до 129 дней, среднее – 122). Его тренд составил 3 дня/10лет (рис.2, 3). Безморозный период и активная вегетация растений близки по продолжительности и направленности трендов и, по-видимому, обусловлены общими внешними причинами, скорее всего, потеплением климата. Хотя в погодичной динамике корреляция между ними невысокая ($r= 0,32$).

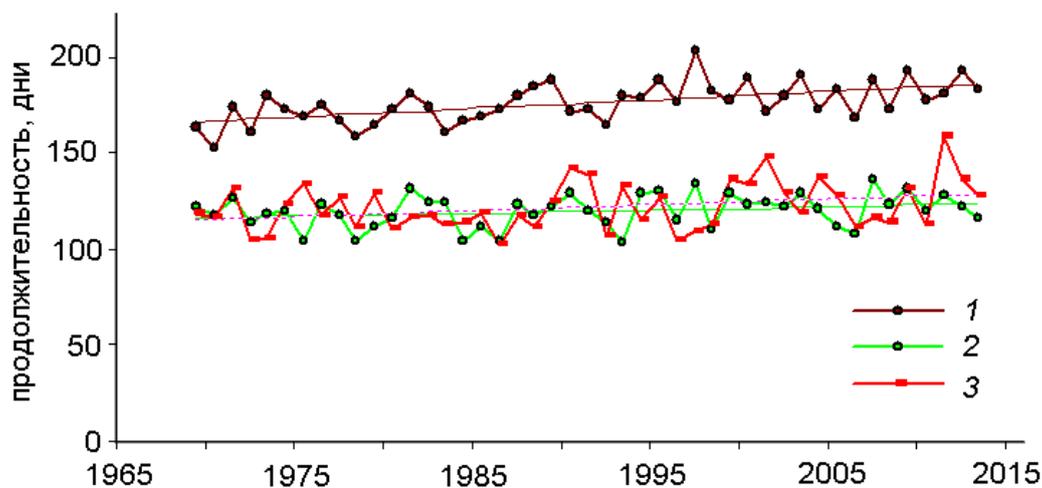


Рис. 2. Динамика продолжительности общей (1) и активной (2) вегетации растений и безморозного периода (3) в г. Томске.

Накопление биомассы у растений связано с процессом их фотосинтеза, который осуществляется в период их активной вегетации. Поскольку последние 45 лет темпы увеличения периода активной вегетации существенно отстают от темпов увеличения периода общей вегетации, то можно предположить, что в современный период потепления климата внутренние возможности древесных растений в формировании фотосинтетического аппарата растений являются одним из ограничивающих условий в накоплении их биомассы.

Заключение

В современный период потепления климата продолжительность общей вегетации растений в г. Томске за последние 45 лет (1969–2013 гг.) увеличилась на 20 дней, а их активной вегетации – на 7 дней. Границы

вегетации раздвигались в основном за счет более ранних сроков наступления фенофаз растений в весенний и раннелетний периоды, в меньшей степени за счет более поздних сроков наступления фенофаз в позднелетний и осенний периоды. Сроки начала фенофаз деревьев и кустарников тесно связаны с суммами накопленных положительных температур к их началу. Тренды начала таких фенофаз как сокодвижение (физический процесс) и цветение (генеративная функция) оказались выше ($-2,5-3,4$ дня/10 дней), чем таковые облиствления, пожелтения и листопада (фотосинтетический аппарат) деревьев и кустарников ($+0,3-1,3$ дня/10 дней). Но в целом они на порядок ниже, чем тренды накопленных положительных температур воздуха к началу соответствующей фенофазы.

Список литературы

1. География Томской области. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1988. – 246 с.
2. Гордиенко Н.С., Соколов Л.В. Анализ долговременных изменений сроков сезонных явлений у растений и насекомых Ильменского заповедника в связи с климатическими факторами // Экология. – 2009. – № 2. – С. 96–102.
3. Календарь природы Сибири. – Л., 1974. – 153 с.
4. Крюкова К.А., Пинаева Н.В. История фенологических наблюдений в Томске и Томской губернии // Вестник Томск. гос. ун-та. Биология. – 2013. – № 1 (21). – С. 191–197.
5. Николаева С.А. Многолетняя динамика сезонного роста кедра сибирского под пологом березово-сосновых сообществ на юге Томской области // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т. 4. – С. 49–54.
6. Николаева С.А., Климова Н.В. Сезонная динамика травяного яруса лиственно-сосновых травяных сообществ в пригородных лесах г. Томска // Вестник Томск. гос. ун-та. Биология. – 2010. – № 1 (9). – С. 78–92.
7. Николаева С.А., Панов А.Н. Сезонный рост и развитие побегов кедра сибирского под пологом сосновых и березовых насаждений // Лесоведение. – 2012. – № 3. – С. 59–68.
8. Николаева С.А., Рудский В.Г. Изменения сроков сезонных явлений у древесных видов в г. Томске за последние полвека // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 4. – С. 291–295.
9. Овчинникова Т.М., Фомина В.А., Андреева Е.Б. и др. Анализ изменений сроков сезонных явлений у древесных растений заповедника Столбы в связи с климатическими факторами // Хвойные бореальной зоны. – 2011. – Т. 28, № 1–2. – С. 54–59.

10. Рудковская Н.В. География Томской области (сезонно-агроклиматические ресурсы). – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984. – 159 с.
11. Рудский В.Г. Неделя за неделей. Календарь природы г. Томска. – Томск: Печатная мануфактура, 2004. – 112 с.
12. Серебряков И.Г. Соотношение внутренних и внешних факторов в годичном ритме развития растений: к истории вопроса // Бот. журн. – 1966. – Т. 51. № 7. – С. 923–938.
13. Соловьев А.Н. Климатогенная динамика сезонной активности биоты востока Русской равнины в XX столетии // Известия РАН. Сер. географическая. – 2007. – № 4. – С. 54–65.
14. Шульц Г.Э. Индикационная фенология на современном этапе // Известия Всесоюз. геогр. общ-ва. – 1972. – № 2. – С. 81–87.

References

1. Geografiya Tomskoy Oblasti. – Tomsk: Izd-vo Tomsk. un-ta, 1988. – 246 s.
2. Gordienko N.S., Sokolov L.V. Analiz dolgovremennyh izmeneniy srokov sezonnyh yavleniy u rasteniy i nasekomyh Ilmenskogo zapovednika v svyazi s klimaticheskimi faktorami // Ekologiya. – 2009. – № 2. – S. 96–102.
3. Kalendar prirody Sibiri. – L., 1974. – 153 s.
4. Kryukova K.A., Hinaeva N.V. Istoriya fenologicheskikh nablyudeniy v Tomske i Tomskoy gubernii // Vestnik Tomsk. gos. un-ta. Biologiya. – 2013. – № 1 (21). – S. 191–197.
5. Nikolaeva S.A. Mnogoletnyaya dinamika sezonnogo rosta kedra sibirskogo pod pologom berezovo-sosnovykh soobshchestv na yuge Tomskoy oblasti // INTEREKSPON FEO-SIBIR-2013. IX Mezhdunar. nauch. kongr. – Novosibirsk: SGGa, 2013. – Т. 4. – S. 49–54.
6. Nikolaeva S.A., Klimova N.V. Sezonnaya dinamika travyanogo yarusy listvenno-sosnovykh travyanykh soobshchestv v prigorodnykh lesakh g. Tomsk. Vestnik Tomsk. gos. un-ta. Biologiya. – 2010. – № 1 (9). – S. 78–92.
7. Nikolaeva S.A., Panov A.N. Sezonnyy rost i razvitiye pobegov kedra sibirskogo pod pologom sosnovykh i berezovykh nasazhdeniy // Lesovedenie. – 2012. – № 3. – S. 59–68
8. Nikolaeva S.A., Rudskiy V.G. Izmeneniya srokov sezonnyh yavleniy u drevesnykh vidov v g. Tomske za poslednie polveka // INTEREKSPON FEO-SIBIR-2014. X Mezhdunar. nauch. kongr. – Novosibirsk: SGGa, 2014. – Т. 4. – S. 291–295.
9. Ovchinnikova T.M., Fomina V.A., Andreeva E.B. i dr. Analiz izmeneniy srokov sezonnyh yavleniy u drevesnykh rasteniy zapovednika Stolby v svyazi s klimaticheskimi faktorami // Hvoynye borealnoy zony. – 2011. – Т. 28, № 1–2. – S. 54–59.
10. Rudkovskaya N.V. География Томской области (сезонно-агроклиматические ресурсы). – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984. – 159 с.
11. Rudskiy V.G. Nedelya za nedelei. Kalendar prirody g. Tomsk. – Tomsk: Pechatnaya manufaktura, 2004. – 112 s.
12. Serebryakov I.G. Sootnosheniye vnutrennykh i vneshnykh faktorov v godichnom ritme razvitiya rasteniy: k istorii voprosa // Bot. zhurn. – 1966. – Т. 51. № 7. – S. 923–938.
13. Solovjev A.N. Klimatogennaya dinamika sezonnoy aktivnosti bionty vostoka Russkoy ravniny v XX stoletii // Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya. – 2007. – № 4. – S. 54–65.
14. Shults G.E. Indikatsionnaya fenologiya nasovremennom etape // Izvestiya Vsesoyuz. geogr. obsch-va. – 1972. – № 2. – S. 81–87.