

ОПИСАНИЕ ФАЙЛА

Проскуряков М.А. Хронобиология растений в период изменения климата

Статья.- Журнал «Известия НАН РК», серия биол. и медиц., №3 (273). - Алматы. - 2009. - С. 69-74.

В статье впервые проанализированы материалы долговременного хронобиологического мониторинга развития и продуктивности лекарственных растений Казахстана. Рассмотрены методические особенности такого мониторинга и перспективы его применения. Установлены факты мощной дифференциации биологических процессов, состояний и продуктивности лекарственных растений во время изменения климата Земли. Показаны возможности мониторинга для определения направления, скорости изменения характеристик, жизнеспособности и продуктивности растений. Обоснована необходимость долговременного мониторинга для решения задач оценки ресурсной перспективности лекарственных растений, продуктивности биомассы, биохимических характеристик сырья, содержания лекарственных веществ и разработки научной основы оптимизации их использования.

Далее следуют материалы опубликованного файла статьи.

М.А.ПРОСКУРЯКОВ

ХРОНОБИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ В ПЕРИОД ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

(Институт ботаники и фитоинтродукции МОН РК)

На примере аборигенных и интродуцированных видов показана возможность исследования направления и скорости изменения показателей жизнеспособности и продуктивности растений в период трансформации климата. Обоснована перспективность системного подхода к исследованиям и проанализированы методические особенности решения задач.

Климат земли меняется. Соответственно будет дифференцироваться и ее растительный покров. Тем самым диктуются новые цели и направления научных исследований. Нужно предвидеть последствия изменения растительного покрова и во время принять меры по сохранению его биологической устойчивости.

Однако развитие этих исследований связано с определенными трудностями [1]. Ведь экологический режим местности формируется совокупностью многих изменяющихся во времени факторов. Притом для жизнедеятельности растений важны не только состояния каждого из этих факторов. Еще более существенен результат их совместного (во взаимовлиянии) воздействия на растения. Учесть роль прямодействующих факторов во всем многообразии их комбинаций и притом для каждого конкретного местообитания растений, да еще и в динамике пока не представляется возможным.

Между тем к решению рассматриваемой проблемы можно приступить, развивая хронобиологическое направление исследований жизнеспособности растений. Главной целью этого направления исследований должен стать анализ дифференциации биологических признаков, процессов и состояний у растений в период трансформации среды обитания.

В методологическом плане развитие этого направления на данном этапе возможно на базе применения системного подхода. В этом аспекте уместно использование процессуального представления о системе и понятия о «черном ящике». Известно, что процессы и структуры внутри экологической системы можно представить в виде «черного ящика», функция которого может

быть описана без выяснения внутреннего содержания [2,3 и др.]. Поэтому, изучая зависимость между входом и выходом любого «черного ящика», можно предсказывать результат его действия, не зная, как он устроен. А процессуальное представление о системе предполагает ее понимание как последовательности состояний во времени [4,5,6,7,8 и др.]. При этом основным понятием будет являться понятие периода жизни, т.е. временного интервала, в течение которого данная система существует. Период жизни разбивается на ряд состояний.

В общем виде в приложении к нашей проблеме входом в рассматриваемую систему будет период жизни (интервал лет), в течение которого рассматривается работа системы «растение – среда обитания». Конкретными состояниями периода жизни будут годы наблюдений, охваченные исследуемым периодом жизни растений. Выходом системы будут исследуемые параметры показателей жизнеспособности и прочие свойства растений, трансформированные под действием среды обитания. В содержание же «черного ящика» нашей системы входят процессы и структуры, определяющие трансформацию свойств растений под действием факторов меняющейся среды обитания за тот период жизни, в течение которого функционирует рассматриваемая система. В поведении такой процессуальной системы возможны следующие особенности.

Если изменение климата действительно имеет место, то это проявится на выходе данной системы – по реакции самих растений. Например, когда климат меняется в сторону благоприятную для данного вида, то на выходе системы будут

фиксироваться улучшение его продуктивности и жизнеспособности. Когда же климат будет меняться в неблагоприятную сторону, то характеристика растений будет ухудшаться. В случае отсутствия сколько-нибудь существенного влияния изменения климата в поведении растений также не будет существенных изменений.

Исходный фактический материал для применения хронобиологического процессуального системного исследования уже имеется в огромном количестве и продолжает пополняться. Например, - в летописях природы заповедников, ботанических садах, пчеловодческих фенологических наблюдениях, институтах ботаники, дачно-садоводческих, растениеводческих хозяйствах и т.д.

В качестве методов статистической обработки становится возможным применить дисперсионный, корреляционный, регрессионный и др. виды статистического анализа. Они общеизвестны [9 и др.] Например, расчеты коэффициентов парной корреляции между фактором периода жизни и характеристиками растений на выходе системы позволят оперативно планировать схему дальнейшей обработки. Расчеты коэффициентов корреляционного отношения и уравнений регрессии, построение на их материалах графических моделей зависимостей дадут возможность судить о скорости, направлении и характере закономерностей. В целом же оказывается возможным для любого участка территории оперативно, с широким использованием компьютерной техники и ее программ, обрабатывать огромные массивы информации и объективно оценивать достоверность результатов. Притом для получения всей этой важной информации не требуются специальные исследования действующих факторов среды обитания.

Реальные возможности предлагаемого подхода можно проиллюстрировать на модельных объектах. В этой связи рассмотрим результаты выполненной статистической обработки материалов наших 14-летних наблюдений по аборигенным видам и материалов базы данных по инорайонным интродуцированным растениям, опубликованной в открытой печати [10,11,12]. Аборигенные виды представлены гусиным луком Капю (*Gagea capusii* Terr.) и одуванчиком обыкновенным (*Taraxacum officinale* Wigg.). Интродуцированные виды растений - Амми большой (*Ammi majous* L.), Фенхелем обыкновенным

(*Foeniculum vulgare* Mill.) и Анисом обыкновенным (*Pimpinella anisum* L.).

Гусиный лук Капю – многолетник, 10-20 см высотой. Цветет в марте – апреле. Растет по лессовым предгорьям и равнинам южного и юго-восточного Казахстана. Одуванчик обыкновенный – тоже многолетник, 5-50 см высотой. Цветет и плодоносит в апреле-мае по садам, паркам, населенным пунктам и предгорьям Северного Тянь – Шаня. Наши наблюдения по ним проводились с 1994 по 2007 год.

Анис обыкновенный – травянистое однолетнее растение, ареал которого приурочен к странам Средиземноморья и Передней Азии. По нему опубликована база данных наблюдений за период с 1994 по 2004 г. Фенхель обыкновенный в культуре – травянистое растение. Отличается очень широким диапазоном приспособленности и, соответственно, ареалом. Растет в южных районах Средней Азии - Копетдаге и Памиро – Алае. Как сорное растение встречается на полях и залежах юга Казахстана. Очень полиморфен. Опубликованной по нему базой данных охвачен период с 1984 по 2006 г. Амми большая – также однолетнее травянистое растение. Ее родина – Средиземноморье. Имеются опубликованные материалы базы данных наблюдений за период с 1994 по 2004 г.

Район исследований для всех перечисленных аборигенных и инорайонных видов растений – северные предгорья хребта Заилийский Алатау (42° с. ш.). Высота в пределах 880 м над уровнем моря. Почвы суглинистые. Длительность периода со среднесуточной температурой +10° до начала наблюдений составляла 164-182 дня, количество осадков варьировало от 460 до 790 мм в год. Общеизвестно, что в этом регионе Казахстана происходит потепление климата.

В качестве показателей жизнеспособности растений в данной работе исследовались: дата начала их цветения, продолжительность периода вегетации и высота растений по каждому году наблюдений. Характеристики этих показателей были учтены таким образом, чтобы была обеспечена их сравнимость. Например, у интродуцированных растений соблюдалась идентичность условий выращивания и сроков высева их семян в грунт и т.п. В течение всего периода исследований соблюдалось постоянство участков, где велись наблюдения. Для математической обра-

ботки полевые наблюдения, выражаемые в календарных датах, переводились в непрерывный ряд чисел по специальным таблицам [13]. Для построения теоретических линий регрессии [9] на представленных ниже графиках точки с координатами соответствующими значениям зафиксированных лет наблюдений и рассчитанных для них групповых средних по изучаемым характеристикам растений наносились на график и соединялись плавной линией.

Дата начала цветения позволяет судить о начале репродукции растений в данной конкретной местности, при конкретных условиях режима среды обитания. Она - важная характеристика жизни растений связанная с продолжением рода, обеспечением устойчивого воспроизводства. По результатам исследований Г.Н.Зайцева[13] дата начала цветения у растений имеет наименьшую неопределенность поля вероятностей, наиболее информативна по сравнению с другими фенодатами: конца цветения, начала распускания листьев, начала осенней раскраски листьев, созревания плодов, начала осеннего листопада и пр. Продолжительность периода вегетации отражает адаптационные возможности роста и развития растений, способности растений уложиться в предоставляемые внешними условиями время и режимы среды обитания. Наконец, высота растений позволяет оценить их биологическую продуктивность и степень благоприятности среды обитания для их жизнедеятельности. Перечисленные показатели жизнеспособности были отобраны автором в результате довольно широкого поиска. Однако это не исключает в дальнейшем возможности увеличения их состава.

Для анализа материалов накопленной базы данных был применен рассмотренный выше подход, основывающийся на процессуальном представлении о системе и понятии «черного ящика». Входом в процессуальную систему являлся период жизни (интервал лет) каждого вида исследуемых растений, в течение которого изучалась работа системы «растение - среда обитания» в предгорьях Заилийского Алатау. Конкретными состояниями периода жизни являлись годы наблюдений за растениями в природе или в культуре. Например, 1994, 19952007 год. Выходом системы были перечисленные выше показатели жизнеспособности и продуктивности растений. В содержание «черного ящика» включались все процессы и структуры определяющие изменчи-

вость показателей жизнеспособности и продуктивности растений в имеющем место режиме среды обитания предгорий Заилийского Алатау. Между входом в систему (интервалом лет наблюдений) и выходом (характеристиками растений) автором рассчитывались коэффициенты парной корреляции и коэффициенты корреляционного отношения.

Установлено, что для обоих изучаемых видов местных растений коэффициенты корреляционного отношения между наблюдаемым периодом жизни растений и началом их цветения очень высоки. Связь близка к функциональной. Так, у гусиного лука Капю коэффициент корреляционного отношения равен $0,86 \pm 0,07$, а у одуванчика коэффициент корреляционного отношения равен $0,72 \pm 0,14$. В обоих случаях рассчитанное фактическое значение критерия Стьюдента $t_{факт} > t_{0,5}$ табличного. То есть нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается. Это позволило построить линии регрессии даты начала цветения по годам наблюдений (рис.1).

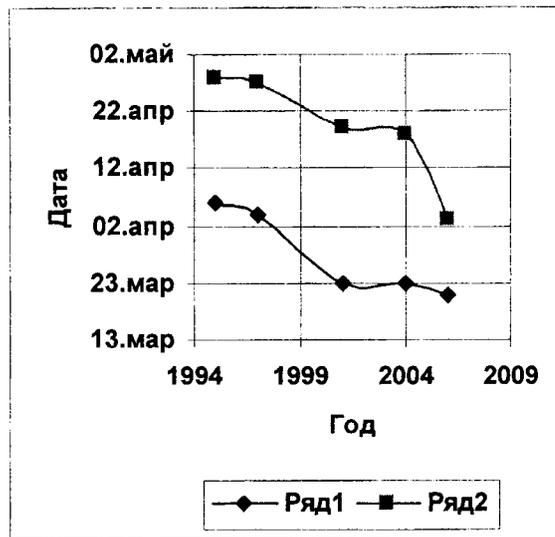


Рис.1. Линии регрессии даты начала цветения *Gagea capusii* Terr. (1) и *Taraxacum officinale* Wigg.(2) по годам наблюдений

Материалы рис.1 наглядно иллюстрируют, что с 1995 по 2006 годы в предгорьях Заилийского Алатау у аборигенных видов имели место существенные сдвиги даты начала цветения к более ранним срокам. У одуванчика за 10 лет средняя дата начала цветения стала раньше на 25 дней. То есть менялась со средней скоростью 2,5 дня за год. У гусиного лука за тот же

период жизни она стала раньше на 17 дней. То есть менялась со средней скоростью 1,7 дня в год. При этом у обоих названных видов растений в период с 2001 по 2004 год линия регрессии выходит на плато. В эти годы она не связана с действием факторов режима среды обитания.

В целом результаты исследований свидетельствуют о том, что в предгорьях хребта Заилийского Алатау на 42° северной широты с 1995 года уже происходит закономерная трансформация режима среды и связанных с этим показателей жизнеспособности аборигенных растений. Причем в области их репродуктивного процесса, с большой скоростью. Но связь даты начала цветения с исследуемым периодом жизни растений имеет нелинейный характер. Она отражает неравномерность трансформации режима среды. По ее характеру, скорости и направленности можно экстраполировать дальнейшее развитие процесса на ближайший период.

Вместе с тем, как свидетельствуют наши расчеты, имеют место важные закономерности в аспекте информативности даты начала цветения относительно других показателей жизнеспособности. У растений, имеющих сходную с рассмотренными выше видами стратегию адаптации, с датой начала цветения тесно связана дата начала плодоношения, длина периода вегетации, продуктивность (высота растений), масса 1000 штук семян. Например, у Амми большой (*Ammi majous* L.), выращенной в том же районе предгорий Заилийского Алатау, парный коэффициент корреляции даты начала цветения с датой начала плодоношения положителен и равен 0,8549. С длиной периода вегетации связь даты начала цветения также положительна и оценивается парным коэффициентом корреляции 0,9527. То есть связь почти функциональная, достигает 85-95% от полной неразрывной, при которой коэффициент корреляции равен единице. Чем раньше наступит дата начала цветения, тем раньше наступает фаза начала плодоношения и больше период вегетации. С высотой растений (продуктивностью) и массой 1000 семян в рассматриваемом случае имеет место отрицательная зависимость. То есть при более ранних сроках наступления фазы цветения высота растений и масса 1000 семян увеличиваются.

Рассчитанные нами коэффициенты корреляции, коэффициенты корреляционных отношений и построенные линии регрессии (рис. 2, 3) для

интродуцированных видов растений позволили констатировать проявление трех основных стратегий их поведения в новых условиях. Кратко остановимся на них.

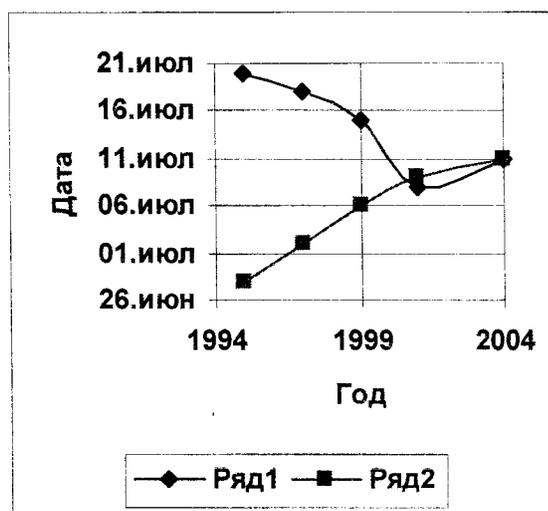


Рис. 2. Линии регрессии даты начала цветения *Ammi majous* L. (1) и *Pimpinella anisum* L. (2) по годам наблюдений

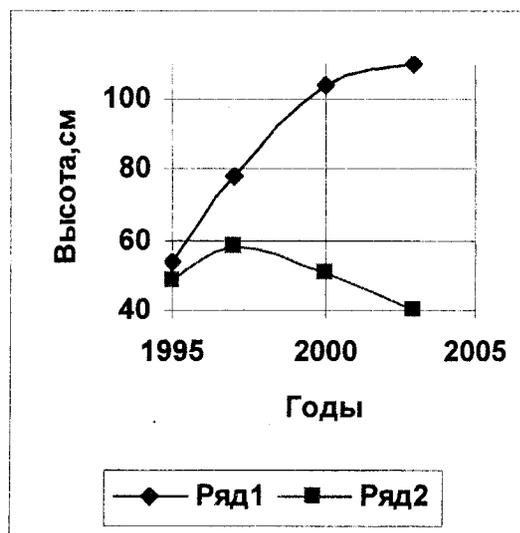


Рис. 3. Линия регрессии высоты *Ammi majous* L. (1) и *Pimpinella anisum* L. (2) по годам наблюдений

1. Интродуцированный вид в изучаемый период изменения среды обитания не испытывает угнетения. За это время дата начала цветения его растений смещается в более ранние сроки, что способствует более полной реализации цикла репродукции. Продолжительность периода вегетации с годами увеличивается. Следовательно, условия для роста и развития растений ста-

новятся более благоприятными. Поэтому в охваченный период времени наблюдений увеличивается высота растений, растет их биологическая продуктивность, биомасса. Такие виды растений на данном этапе испытаний в культуре являются перспективными для интродукции в районе исследований. Но совершенно очевидно, что меняющийся с годами режим среды их обитания уже существенно влияет на их поведение.

Представителем этой стратегии адаптации является Амми большая (рис.2,3). Рассчитанные для нее коэффициенты корреляции и корреляционных отношений не только статистически существенны, но и очень велики. Они свидетельствуют о том, что в период с 1994 по 2004 год установленная связь показателей жизнеспособности с фактором времени трансформации среды обитания близка к функциональной. Например, по дате начала цветения коэффициент корреляционного отношения достигает $0,81 \pm 0,04$. А по высоте растений коэффициент корреляционного отношения равен $0,81 \pm 0,13$. В обоих случаях рассчитанный критерий Стьюдента $t_{\text{факт.}} > t_{05}$ табличного. То есть на 95%-ом уровне значимости связь составляет 81% от полной неразрывной, при которой коэффициент корреляционного отношения равен единице.

2. Интродуцированный вид растений также не испытывает угнетения от среды обитания. Но при этом он слабо реагирует на происходящие изменения экологического режима в изучаемый период времени. Такие виды, как представляется, являются перспективными для культивирования.

Представителем этой стратегии является Фенхель обыкновенный. Рассчитанные коэффициенты корреляции даты начала цветения, длительности периода вегетации и высоты его растений с фактором времени трансформации среды обитания в нашем случае оказались низки и статистически недостоверны. Его принадлежность к данной категории подтверждается также исключительно широким ареалом и охватываемым им диапазоном среды обитания в естественных условиях. Адаптационные возможности испытываемого вида растений настолько широки, что происходящие изменения режима среды несущественны для его жизнедеятельности.

3. Интродуцированный вид испытывает сильное угнетение в период изменений режима среды обитания. По мере трансформации экологического режима дата начала цветения достоверно сдвигается на более поздние сроки. Статис-

тически достоверно снижается высота растений. Падает их биологическая продуктивность. То есть происходящие смены режимов среды уже неблагоприятны для вида растений, угнетающе действуют на его репродукцию, рост и развитие. А величина корреляции продолжительности вегетации с фактором времени трансформации среды обитания становится несущественной, т.к. имеет место критическое для растений состояние экологического режима.

Представителем третьей категории адаптационной стратегии видов является Анис обыкновенный. Направление и скорость изменений в процессе его репродукции и продуктивности иллюстрируют рис.2,3. Рассчитанный коэффициент корреляционного отношения, соответственно, для начала цветения равен $0,64 \pm 0,17$, а для высоты растений равен $0,72 \pm 0,14$. Результаты этих оценок также статистически значимы на 95%-ом уровне. Коэффициент же корреляции продолжительности периода вегетации с фактором времени трансформации среды обитания оказался низок и статистически не достоверен. Принадлежность аниса к третьей категории объясняется тем, что его изначальная родина (Средиземноморье) по экологическим характеристикам далека от Казахстана. В новых условиях меняющегося климата Казахстана ему явно трудно адаптироваться. Происходящие изменения режима среды обитания существенно ухудшают его жизнеспособность, не отвечают его биологическим требованиям, снижают его биологическую продуктивность.

Вместе с тем, на графиках (рис.2,3) наглядно видно, что в период 2001-2003 года линии зависимостей у Амми большой начали менять свое направление. Проявилась тенденция к сдвигу даты начала цветения на более поздний срок. Начали снижаться темпы увеличения высоты (т.е. продуктивности) испытываемых растений. Это позволяет предполагать, что при дальнейшем углублении трансформации среды реакция Амми большой может пойти по третьему типу адаптационной стратегии (как у Аниса обыкновенного). Тогда она окажется тоже неперспективной для интродукции.

Наряду с рассмотренными выше основными типами поведения растений имеют место и промежуточные. Но на них мы здесь пока останавливаться не будем.

Таким образом, как можно было убедиться, проиллюстрированный подход позволяет следующее.

1. Достоверно, на 95%-ом уровне доверия обрабатывать результаты мониторинга за поведением растений, установить факт проявления трансформации, время начала и скорость изменений показателей жизнеспособности у растений в конкретный период лет, когда меняется режим среды обитания. Получить графическое изображение процесса изменения показателей жизнеспособности и продуктивности, наглядно иллюстрирующее степень линейности связи, направление, скорость процесса и периоды замедления и усиления влияния режима среды обитания.

2. Дифференцировать основные типы адаптационной стратегии видов растений. Определить принадлежность того или иного вида к определенному типу стратегии его адаптации в трансформирующихся условиях обитания. Оценить ресурсную перспективность исследуемых видов растений в конкретном периоде жизни и прогнозировать возможный ход дальнейшей трансформации их жизнеспособности и свойств в данном конкретном режиме и скорости трансформации среды обитания.

3. Разработать научную основу управления природными растительными сообществами, позволяющую ослабить вредные последствия трансформации растительного покрова под действием изменений режима среды обитания. А также разработать научную основу для рекомендаций по интродукции инорайонных видов растений и отбору перспективных видов. При этом решить проблему для любого местообитания, где имеются преемственные, многолетние достоверные результаты наблюдений за поведением растений, даже в условиях фактического отсутствия материалов метеонаблюдений за изменением климата.

Использование рассмотренного выше подхода к исследованиям интродуцированных и, одновременно, аборигенных видов растений позволит быстрее подготовиться к трансформации растительного покрова и его последствиям, как в культуре, так и природных условиях. Сделать это тогда, когда видимых признаков (сокращения ареалов, исчезновения видов растений и т.п.) еще не происходит. На выходе рассматриваемой процессуальной системы можно исследовать не только показатели жизнеспособности растений, продуктивность их биомассы, но и биохимические характеристики их сырья, содержание лекарственных веществ, технические свойства растительной продукции и многое другое. Вся эта информация будет чрезвычайно ценна для разработ-

ки и применения стратегии управления растительным покровом, его реставрации и природопользования в новых климатических условиях.

В более широком плане, как представляется, рассмотренные аспекты хронобиологических исследований процессуальных систем могут быть реализованы не только для ботанических, но и зоологических объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проскуряков М.А. Проблема восстановления растительных ресурсов при изменении климата. Ж. Известия Национальной академии наук республики Казахстан. Серия биол. и медицинск. №1. Алматы. 2008, с.52 – 57.
2. Юдин Б.Г. Становление и характер системной ориентации. Сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука М.1972, с. 18-34.
3. Одум Ю. Основы экологии. Изд. Мир. М. 1975. -740 с.
4. Горохов В.Г. Множественность представлений системы и постановка проблемы системного эталона. В сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1972, с. 72-78.
5. Никаноров С.П. Системный анализ и системный подход. В сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1972, с. 55-71.
6. Садовский В.Н. Некоторые принципиальные проблемы построения общей теории систем. В сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1972, с.35-54.
7. Гаазе-Рапопорт М.Г. Кибернетика и теория систем. Сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука М.1973, с. 38-51.
8. Юдин Б.Г. Системные исследования в функциональном подходе. Сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука М.1973, с.108-126.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М. «Колос». 1973.-336 с.
10. Грудзинская Л.М. Анис обыкновенный в предгорьях Зайлийского Алатау. В кн. Биологические основы селекции и генофонда растений// Материалы Междунар. науч. конф. Алматы. 2005, с. 57-60.
11. Грудзинская Л.М. Формирование базы данных по интродуцированным лекарственным растениям (на примере *Ammi majus* L.). Растительный мир и его охрана. Тр. Междунар. научн. конф. посвященной 75-летию ИБ и Ф. 12-14 сентября 2007 г. Алматы. 2007а, с.203-206.
12. Грудзинская Л.М., Ташкулова Н. Фенхель обыкновенный (*Foeniculum vulgare* Mill.) – биология и культура. Вестник Каз НУ, серия биологическая, №5 (35). Алматы, 2007б, с.12-16.
13. Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. Изд. Наука. М.1981.-120 с.

Резюме

Климаттың трансформациясына байланысты өсімдіктердің хронобиологиялық көрсеткіштерінің өзгерістері негізінде әдістеме жасалынған.

Summary

Methodic base of chronobiological analyses for speed and direction of changing index of plant vitality in the time of climate transformation is elaborated.