



УДК 631.524.001

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИНТРОДУКЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П. Е. БУЛАХ

Национальный ботанический сад им. Н. Н. Гришко НАН Украины  
Украина, 01014 Киев, ул. Тимирязевская, 1

*Рассматриваются нынешнее состояние и перспективы развития интродукции растений как теоретической науки, требующей методологического обеспечения. Показана необходимость разработки новой парадигмы интродукции растений. Предлагаются методические принципы оптимизации интродукционного процесса на основе информационно-энергетической концепции. Описаны количественные методы интенсификации исследований на разных этапах интродукции растений.*

Интродукция растений — один из важнейших видов человеческой деятельности. Это научное направление можно рассматривать в нескольких аспектах. Первый связан с представлением об интродукции как о теоретической науке, требующей методологического обеспечения. Второй определяется как агротехнический процесс с комплексом технологических разработок. И, наконец, — это ряд многочисленных биологических и социальных явлений, связанных с данным процессом.

В науке о переселении растений накоплено огромное количество фактов и эмпирических закономерностей. Многие из них выражены в виде теоретических положений, иногда даже в математической форме. Но, несмотря на это, теория — в том строгом смысле, в каком понимается это слово в “точных” науках, — отсутствует. Найденные закономерности существуют разрозненно, не образуют системы, не связаны друг с другом логически, не являются следствием каких-то более общих принципов.

Создано множество частных теорий интродукции, которые содержат идеи и предлагают практические действия применительно к переселению определенной группы растений в конкретных природных и социально-экономических условиях. Ощущается отсутствие достаточно формализованной общей теории интродукции, устанавливающей логическую связь между отдельными обобщениями, гипотезами и законами, что препятствует решению частных практических задач. Вместе с тем существующий комплекс частных теорий способствует построению общей теории интродукции растений. Вероятно, индуктивное обобщение, т. е. переход от знания об единичном к знанию об общем, и результаты этого процесса, фиксируемые в соответствующих понятиях и суждениях, на данном этапе развития интродукции растений является наиболее актуальной задачей.

На фоне большого количества работ в области теории и методов интродукции можно отметить неоднозначное использование некоторых терминов, возникают дискуссии о предмете, задачах и методах этой науки, господствует метод “проб и ошибок”.

© П. Е. БУЛАХ, 1999



Все это не способствует росту авторитета и престижа интродукции растений как науки, заставляет задуматься о существовании определенных этапов развития отдельных научных дисциплин. Разнообразные их критерии и степени "зрелости" [1] не всегда дают возможность сделать вывод о степени сформированности отдельных отраслей науки вследствие неоднозначности толкования фигурирующих в них суждений.

Более конструктивный исторический подход к этой проблеме [15] предполагает признаком зрелости любой научной дисциплины считать наличие парадигмы, т. е. определенной системы взглядов, выраженных в виде общих представлений, концепций, теорий. Парадигма опирается на фундаментальные научные достижения, выполняет определенные познавательные функции, располагает соответствующей методической базой. За принятием парадигмы следует использование теорий, выдвигаемых ею. С течением времени в рамках парадигмы накапливаются факты, которые нельзя объяснить с помощью принятого методического аппарата. Происходит поиск и затем реализация новой парадигмы. В какой-то степени смена парадигм определяет и чередование исторических этапов развития науки.

В интродукции растений А.М. Мауринь [17] выделяет шесть таких этапов: 1) наивного акклиматизаторства (натурфилософский); 2) натурализации (позитивистский); 3) дедукции; 4) феноменологический; 5) селекционизма; 6) моделирования. Последний из них переживает стадию формирования методических основ. Это происходит достаточно быстрыми темпами на базе заимствования и соответствующей подгонки математического аппарата (функциональное, эскизное и имитационное моделирование).

Анализ основных тенденций развития интродукции растений позволяет предположить, что эта самостоятельная научная дисциплина переживает очередную смену парадигмы и находится в предпарадигматическом состоянии. Такое утверждение основывается на том, что далеко не все накопленные в этой области знаний факты получают удовлетворительное объяснение в рамках суще-

ствующих теорий. Как наука интродукция растений представляет собой раздел прикладной ботаники. Она имеет много частных теоретических обобщений, собственный методологический аппарат, специфические методические подходы, оперирует определенными понятиями и терминами и находится на пути к созданию общих теоретических основ интродукции растений.

Интродукция растений — наука многогранная, она использует целый арсенал понятий, терминов и методов смежных разделов наук. Попытка рассмотреть под разными углами зрения интродукционный процесс неизбежно привела бы к его интенсификации и скорейшему становлению новой парадигмы, позволяющей корректно объяснить имеющийся фактический и экспериментальный материал. Однако на пути к этому существует множество естественных препятствий. Отдельные отрасли биологических знаний — фитоценология, агроклиматология, почвоведение, мелиорация, земледелие, растениеводство, селекция, агрохимия и другие, развиваясь независимо друг от друга, имеют собственные термины и величины, которые взаимно не согласованы. Вместе с тем эти частные отрасли знаний изучают с разных сторон по сути дела одну и ту же общую систему организм — окружающая среда. Изучение этой сверхсложной самоорганизующейся системы возможно на базе интеграции смежных знаний на единой концептуальной основе.

Способы проведения интродукционного эксперимента не всегда корректны. Изучаемые объекты рассматриваются изолированно, без "обратных связей" и сложных взаимодействий в системе организм — среда. К настоящему времени существует понятие об организме как о сложной системе связей между его частями и между ним и средой обитания, но не сформировался методический подход к системному изучению рассматриваемого круга явлений. Это еще раз свидетельствует о необходимости изменения парадигмы (системы правил, стандартов) научного поиска в интродукции растений. Такой естественный для любой науки процесс смены парадигм подготовлен и



обусловлен всем ходом исторического развития этой науки. Следовательно, на современном этапе необходим поиск новых методологических подходов, основанных на системном подходе, новых методов интенсификации интродукционной работы, приемов повышения ее эффективности. Системный анализ в нашем понимании — это широкая стратегия научного поиска, необходимая для выбора оптимального способа проведения интродукционного эксперимента, стремление построить целостную картину рассматриваемого явления.

Новая парадигма в интродукции растений может основываться на воплощении очень широко распространенного в биологии принципа оптимальности. На этих позициях базируются многие теории в “точных” науках, показаны перспективность подобного подхода в биологии [12, 19] и возможность использования его в интродукции растений [14]. Принцип оптимальности, в его строгом понимании, представляет собой утверждение о минимуме или максимуме некоторой величины (функционала, целевой функции). Из математической теории оптимизации следует, что процесс оптимизации заканчивается в момент достижения экстремума соответствующего критерия. Именно с этих позиций нами была предпринята попытка подойти к разработке одного из вариантов общей теории интродукции растений, которая смогла бы объяснить множество фактов и явлений, связанных с переселением организмов, и на основе которой можно было бы строить многочисленные частные теории.

С этой целью рассмотрены самые общие положения, базирующиеся на экстремальных принципах с заложенной в них идеей оптимальности и наиболее подходящие для изучения функционирования живых организмов. Дальнейший синтез этих положений, вероятно, позволит приблизиться к построению общей теории интродукции растений. Были проанализированы широкоизвестные общебиологические положения: принципы экономии энергии, максимума энтропии и максимума информации. Показана возможность каждого из них “работать” в области интродукции растений [2—4].

На основе интеграции этих принципов с учетом их приоритетов сформулирована информационно-энергетическая концепция интродукции растений [5]. С ее позиций можно утверждать, что интродуцент в новых для него условиях испытывает информационное воздействие среды и закономерно изменяет свою организацию в направлении энергетической минимализации и максимальной упорядоченности относительно действующей информации. Иными словами, адаптация интродуцентов представляет собой их переход в информационно максимальные и энергетически минимальные состояния. Предложенный подход основан на анализе взаимодействий двух информационных потоков (внутреннего и внешнего), т. е. рассматриваются вертикальная и горизонтальная информационные системы и их соотношение [5]. Обстоятельный анализ разрабатываемой нами концепции еще предстоит провести, но несомненным является ее роль в оптимизации и интенсификации интродукционных исследований. Значение концепции можно сформулировать следующим образом.

1. Представляется возможность на новой концептуальной основе свести в единую систему обширный теоретический и практический материал многих биологических наук, которым оперирует исследователь в области интродукции растений.

2. Открывается перспектива с новых позиций подойти к важнейшим интродукционным понятиям: стресс, адаптация, гомеостаз, устойчивость, онтогенез, филогенез — и установить взаимосвязь между ними.

3. Появляется возможность объяснить явления, возникающие на границе раздела двух сред (экотонный эффект).

4. Становится понятным значение тех информационных сигналов, которые не воздействуют в настоящее время, но оказывали свое влияние в прошлом (эффект памяти).

5. Открывается возможность получить объективный количественный критерий устойчивости интродуцированных растений в новых условиях среды.

6. Появляется перспектива моделирования устойчивых искусственных фитоценозов



и управления ими на информационно-энергетической основе.

Поиск новых подходов, позволяющих наиболее эффективно решать поставленные перед ученым задачи, можно вести различными путями. Представленный выше методический прием основан на строгом понимании термина "оптимизация" и построен на использовании экстремальных принципов. Вероятно, не во всех случаях уместно столь строгое воплощение принципа оптимизации. Может быть и более вольная его трактовка. Однако в любом случае должна быть обнаружена определенная закономерность в системе интродукцент — окружающая среда. Примером научного подхода к использованию принципа оптимальности в биологии являются работы П.В. Терентьева [22], Н. Рашевски [18] и Р. Розена [19], а в интродукции растений — Г.Н. Зайцева [14] и В.Б. Логгинова [16].

Интродукционный процесс в самом общем виде можно рассматривать в трех аспектах: научный прогноз, эксперимент и оценка результатов интродукции [21]. На каждом из этих этапов возможно и необходимо использование комплекса методических приемов, ведущих к интенсификации интродукционных исследований.

**Интродукционный прогноз.** Он является первым и обязательным этапом интродукционного процесса. Прогнозирование — это показатель зрелости науки. Интерес к нему непрерывно растет, что объясняется осознанием значения планирования интродукционного процесса. Прогнозирование представляет собой ту часть деятельности человека, которая предшествует планированию и предназначена для подготовки исходных данных для разработки планов. Методологические его аспекты подробно рассмотрены нами ранее [6]. Показано, что при наличии большого количества методов прогноза (экологи насчитывают их более 150) существует всего три основных способа прогнозирования: экстраполяция, интерполяция и моделирование. Их обзор не является предметом обсуждения в данной работе. Обратим внимание на те недостатки, которые встречаются в случае применения ме-

тодов прогноза в интродукции растений. Например, при использовании концепции климатической аналогии разные авторы отдают предпочтение различным показателям, что приводит к неоднозначным оценкам. Часто первостепенное значение приобретают субъективные факторы. Избежать этого можно путем учета всей их совокупности. Однако это вызывает чисто технические сложности (так же, как и выделение активно действующих доминирующих факторов). В данном случае целесообразным может быть использование математических методов (многофакторный эксперимент, регрессионный анализ, математическое моделирование). Отметим также, что для моделирования отдаленных последствий каких-либо явлений или процессов необходима общая теоретическая основа. В области интродукции растений ею могут быть теория оптимума [14], главные принципы которой нуждаются в строгой формализации, теория надежности [13] и разрабатываемая нами информационно-энергетическая концепция [5].

Оптимизация работ в области интродукционного прогноза неразрывно связана с поиском и разработкой новых методических подходов. Особое значение приобретают количественные методы. Уже сам термин "прогноз" несет в себе количественный характер, а основное требование к нему — достоверность — является предметом математической статистики. Нами в рамках интродукционного эксперимента по переселению в Украину среднеазиатских видов рода *Allium* L. проводилась разработка и апробация новых методических количественных приемов интродукционного прогноза [7—9, 11]. Их использование приводит к отбору наиболее устойчивых в новых условиях видов, что подтверждается результатами их изучения в условиях первичной культуры.

**Интродукционный эксперимент.** Рассмотрим один методический прием, который значительно повышает эффективность интродукционных исследований при работе с родовыми комплексами (или их фрагментами). Изучение в культуре большого количества видов определенного рода вызывает существенные затруднения. Часто прихо-



дится работать с не совсем однородной группой растений. Особенно это относится к крупным полиморфным родам. Пути приспособления к определенному типу местообитаний каждой родственной группы видов исследуемого рода существенно различаются. Поэтому представляется целесообразным выделить группы близких видов на основе изучения морфологических признаков, особенностей жизненного цикла и их экологической приуроченности. Такие группы видов, относящиеся к одному роду и характеризующиеся сходными приспособительными особенностями к определенному типу местообитаний, принято называть биоморфотипами. Мы считаем возможным и перспективным рассматривать их в качестве самостоятельной интродукционной единицы [10]. Такой подход позволяет глубже изучить механизм приспособления каждого биоморфотипа к изменившимся условиям. Один из видов данного типа может характеризовать поведение в культуре остальных видов этого же типа.

Многочисленным признакам биоморфотипа сложно дать объективную оценку. В связи с этим приобретают актуальность задачи классификации объектов исследования по комплексу признаков. К такой категории задач относятся методы многомерной статистики (кластерный анализ и метод главных компонент), метод корреляционных пляд В.П. Терентьева и таксономический анализ Е.С. Смирнова. Анализ всех их особенностей, преимуществ и недостатков позволяет сделать выбор в пользу заимствования идей строгого анализа систематических категорий, предложенных Е.С. Смирновым [20]. Метод модифицирован применительно к задачам исследования, новые его алгоритмы приспособлены к полной автоматизации вычислений. Одна из авторских программ для ЭВМ, написанных на языке БЕЙСИК, направлена на количественное определение степени связи между сравниваемыми видами, другая — осуществляет автоматизированный анализ полученных результатов. Предусмотрены и функции, необходимые для графической интерпретации результатов расчета.

Рассмотренный метод и программы апробированы в процессе работы с видами рода *Allium* L. Результаты свидетельствуют, что выделенные биоморфотипы (группы близких видов в пределах рода) характеризуются различными приспособительными особенностями и могут рассматриваться в качестве самостоятельной единицы интродукционного исследования.

**Оценка результатов интродукции.** Основные цели подведения итогов интродукции заключаются в выявлении видового состава растений, устойчивых в новых условиях выращивания, определении их репродуктивной способности, биологической и хозяйственной ценности [23]. Как правило, при подведении итогов интродукции растений рассматриваются особенности их роста и развития, способность к семенному и вегетативному размножению, физиолого-биохимические особенности, устойчивость к воздействию факторам среды, вредителям и болезням. Обычно оцениваются только отдельные стороны проявления жизнедеятельности интродуцентов, т. е. преобладает субъективный подход. Лишь в отдельных случаях дается более обобщенная интегральная оценка успешности интродукции растений.

Изучение среднеазиатских видов родов *Rosa* L., *Berberis* L., *Lonicera* L. и *Allium* L. в условиях культуры показало, что характер зависимости между различными показателями успешности интродукции, их вклад в общую оценку интродукционной способности могут быть различными. Поиск интегральных количественных критериев заставляет вспомнить о теории надежности и использовании ее основных идей в биологии [13]. В нашем случае надежность, вероятно, следует понимать как способность интродуцента выполнять присущие ему функции в новых условиях среды. С этим понятием частично связано представление об устойчивости организма. Однако устойчивость характеризует реакцию организма на действие отдельных факторов среды (морозо-, засухоустойчивость, газостойкость и др.). Надежность — более общее понятие, которому подчинен частный случай — адапта-



ционная способность организма к тому или иному воздействию. Поэтому представляется перспективным использование такого подхода при подведении итогов интродукции растений. Реализация его состоит в поиске критерия надежности.

С этой целью мы предлагаем использовать показатели энергетического баланса организма, наиболее адекватно отражающие его состояние. Достаточное представление об энергетическом обмене растений можно получить при определении их теплотворной способности калориметрическим методом. Обнаружено, что показатель калорийности для каждого вида характеризуется верхним и нижним пределом (видовая норма). Неблагоприятные изменения условий обитания вида в фитоценозе вызывают повышение уровня его биоэнергетики в этих пределах. Экстремальные воздействия могут иметь результатом превышение верхней границы энергоемкости вида, что, в свою очередь, приводит к его исчезновению. Вероятно, растения во взаимодействии с окружающей средой выбирают такие условия, в которых энерготраты минимальны [2, 3].

Предлагаемый методический подход к оценке итогов интродукции растений достаточно универсален и может принести очевидную пользу в различных интродукционных пунктах независимо от их эколого-географических особенностей.

Надеемся, что представленные методические приемы оптимизации интродукционного процесса на основе информационно-энергетической концепции помогут связать воедино отдельные обобщения, гипотезы и закономерности частных теорий интродукции, объяснить большое количество разнообразных факторов и явлений, обусловленных переселением растений. Рассмотренные количественные методы интенсификации интродукционной работы на разных ее этапах могут явиться определенным вкладом в формирование новой парадигмы интродукции растений.

1. Брусиловский П. М. Становление теоретической биологии и математическое моделирование // Проблемы анализа биологических систем. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. — С. 6—22.

2. Булах П. Е. Искусственные фитоценозы в ботсадах в свете энергетической концепции // Ботанические сады — центры сохранения биологического разнообразия мировой флоры: Тез. докл. сессии Совета ботан. садов Украины. — Ялта, 1995. — С. 23—24.

3. Булах П. Е. Критические этапы в онтогенезе живых организмов // Вивчення онтогенезу рослин природних флор у ботанічних закладах Європи. 9 Міжнар. конф. — Мукачеве, 1997. — С. 24—25.

4. Булах П. Е. Онтогенез в свете информационно-энергетической концепции интродукции растений // Вивчення онтогенезу рослин природних та культурних флор у ботанічних закладах та дендропарках Європи. 11 Міжнар. конф. — Біла Церква, 1999. — С. 38—41.

5. Булах П. Е. Принцип оптимальности как важнейшая парадигма интродукции растений // Бюл. Никит. ботан. сада. — 1999. — Вып. 79. — С. 19—23.

6. Булах П. Е. Методологические аспекты интродукционного прогноза // Интродукція рослин. — 1999. — № 1. — С. 30—35.

7. Булах П. Е. Экологические предпосылки интродукции растений // Интродукция и акклиматизация растений. — 1989. — Вып. 11. — С. 24—25.

8. Булах П. Е. Луки природной флоры Средней Азии и их культура в Украине. — Киев: Наук. думка, 1994. — 124 с.

9. Булах П. Е. Использование методов сравнительной флористики в интродукционном прогнозе // Интродукция и акклиматизация растений. — 1994. — Вып. 21. — С. 13—15.

10. Булах П. Е. Биоморфологический тип как самостоятельная интродукционная единица // Проблемы ботаники на рубеже XX—XXI веков: Тез II (X) съезда Рус. ботан. о-ва. — СПб., 1998. — С. 276.

11. Булах П. Е., Казанская Н. А. Использование мер включения в интродукционном прогнозе // Интродукция и акклиматизация растений. — 1994. — Вып. 19. — С. 7—9.

12. Голицын Г. А., Петров В. М. Гармония и алгебра живого. — М.: Знание, 1990. — 127 с.

13. Гродзинский Д. М. Надежность растительных систем. — Киев: Наук. думка, 1983. — 368 с.

14. Зайцев Г. Н. Оптимум и норма в интродукции растений. — М.: Наука, 1983. — 269 с.

15. Кун Т. Структура научных революций. — М.: Прогресс, 1977. — 300 с.

16. Логгинов В. Б. Интродукционная оптимизация лесных культурфитоценозов. — К.: Наук. думка, 1988. — 164 с.

17. Мауринь А. М. Основные этапы развития теории интродукции растений // Биологические закономерности изменчивости и физиология приспособления интродуцированных растений. — Черновцы: Черновиц. гос. ун-т, 1977. — С. 94.

18. Рашевски Н. Некоторые медицинские аспекты математической биологии. — М.: Медицина, 1966. — 243 с.

19. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. — М.: Мир, 1969. — 216 с.

20. Смирнов Е. С. Таксономический анализ. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. — 188 с.

21. Собко В. Г., Гапоненко М. Б. Сучасна системна парадигма інтродукції рослин // Інтродукція рослин. — 1999. — № 1. — С. 21—26.

22. Терентьев П. В. Влияние климатической температуры на размеры змей и бесхвостых земноводных // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биологии. — 1951. — 56, № 2. — С. 14—23.



23. Цицин Н. В. Интродукция и акклиматизация в СССР за 50 лет // Бюл. Гл. ботан. сада АН СССР. — 1968. — Вып. 69. — С. 3—9.

Поступила 17.01.2000

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ  
ІНТРОДУКЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

П. Є. Булах

Національний ботанічний сад  
ім. М. М. Гришка НАН України, Київ

Розглянуто існуючий стан і перспективи розвитку інтродукції рослин як теоретичної науки, що потребує методологічного забезпечення. Доведено необхідність розробки нової парадигми інтродукції рослин. Запропоновано методичні принципи оптимізації інтродукційного процесу на засаді інформаційно-енергетичної кон-

цепції. Описано кількісні методи інтенсифікації досліджень на різних етапах інтродукції рослин.

METHODICAL ASPECTS OF OPTIMIZATION  
OF INVESTIGATIONS ON INTRODUCTION

P. E. Bulakh

M. M. Grishko National Botanical Gardens,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

The present condition and perspectives of development of plant introduction as theoretical science are examined. Plant introduction needs methodological provision and new paradigm. Methodical principles of optimization of introduction process are proposed on the basis of information-energetic conception. Quantitative methods of intensification of researches on different stages of plant introduction are cited.