

П.Е. БУЛАХ

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

ЗНАЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И ОСНОВНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНТРОДУКЦИИ РАСТЕНИЙ

Обсуждаются роль и значение информационно-энергетической теории в интродукции растений и связанных с ней смежных дисциплинах.

Анализируя основные особенности становления и развития интродукции растений в системе биологических наук [6], мы отмечаем: 1) существование ряда фактов и эмпирических закономерностей, которые не могут быть обоснованы в рамках используемого методического аппарата; 2) существование частных теорий интродукции, содержащих идеи и практические рекомендации применительно к переселению определенной группы растений в конкретных природных и социально-экономических условиях; 3) отсутствие общей теории интродукции, которая устанавливала бы логическую связь между отдельными обобщениями, гипотезами и законами; 4) отсутствие единой концептуальной основы для изучения сложной самоорганизующейся системы "организм — среда" (в интродукции растений это возможно только

с позиции интеграции основных положений смежных наук: фитоценологии, растениеводства, почвоведения, земледелия, агроклиматологии и др.).

Эти особенности современного состояния интродукции растений определяют необходимость смены парадигмы исследований (системы правил, стандартов, методологии науки). Новая парадигма в интродукции растений должна базироваться на системных представлениях, а ее методологической основой может служить идея оптимального функционирования организмов (достижение экстремальных значений целевой функции отождествляется с решением задачи оптимизации рассматриваемого процесса) [6].

Этим требованиям в полной мере удовлетворяет обоснованная нами информационно-энергетическая теория. С ее позиций сформулированы основные понятия интродукции растений, рассматривается механизм взаимодействия

© П.Е. БУЛАХ, 2003

в системе "организм – среда" и в самых общих чертах обозначены направления использования основных положений теории [5].

Перспектива дальнейших исследований в этой области связана с изучением того круга проблем, где существует возможность прикладного использования информационно-энергетической теории. Не вызывает сомнений высокая универсальность рассматриваемой теории и ее большое общепромышленное значение. Только в рамках теории интродукции растений можно выделить целый ряд перспективных направлений, развитие которых определяется степенью использования методов теории информации.

Цель работы состоит в определении перспективных направлений использования информационно-энергетической теории в интродукции растений и отражении ее методических возможностей при решении задач, связанных с переселением и сохранением генофонда растений *ex situ*. Она является логическим продолжением представлений автора об основных положениях и методах теории информации в интродукции растений [5].

Основные (базовые) понятия теории интродукции растений (стресс, адаптация, гомеостаз, устойчивость) можно рассматривать и объяснять с позиций информационно-энергетической концепции. Наша трактовка представляет собой попытку пересмотреть привычные, но очень расплывчатые и внутренне противоречивые определения важнейших проявлений жизнедеятельности организма и в значительной мере отличается от их современных толкований.

Стресс. Известно, что генетически обусловленный уровень устойчивости

организмов не может быть выявлен в оптимальных условиях. Для этого обязательным является наличие (или создание) экстремальных или стрессовых условий. То есть устойчивость организма реализуется только в системе "организм – экстремальная среда". Это является следствием системных представлений о природе устойчивости. Воздействие экстремальной среды осуществляется посредством той части информационных сигналов, сила и продолжительность которых являются необходимыми и достаточными для проявления всего потенциального диапазона уровня устойчивости организма. Реакцией организма на эти факторы является стресс. Он представляет собой первую стадию информационно-энергетического взаимодействия в системе "организм – среда". Г. Селье [18] считает, что стресс (или общий адаптационный синдром) – это неспецифическая реакция организма на любое предъявляемое к нему требование и выделяет три стадии стрессовой реакции (тревоги, устойчивости (адаптации) и истощения). В целом разделяя эту точку зрения, позволим себе не согласиться с предложенным выделением стадий. В нашем понимании стресс – это только реакция тревоги (по формулировке Г. Селье), остальные стадии, вероятно, не имеют к нему отношения.

Стресс – это необходимый и обязательный компонент жизнедеятельности, обусловленный множеством различных причинных факторов (информационных сигналов разной природы). Он может рассматриваться как фактор, формирующий потребность организма в перестройке. По мнению В.А. Шевченко [23], стресс – это стадия информационного свертывания, которой соот-



ветствует только стадия тревоги или дистресс по Г. Селье. Чем сильнее стресс, тем сильнее выражен этот процесс. Это объясняется тем, что любые организмы (растения, животные, люди) на разных уровнях своей организации в экстремальных ситуациях утрачивают основные индивидуальные и видовые черты, сохраняя наиболее важные, обеспечивающие их выживание.

Можно утверждать, что стресс — это реакция, в результате которой система сохраняет свою целостность в условиях воздействия чужеродной информации. При этом возможны любые жертвы, в том числе и любые изменения внутренней среды, т. е. система не стремится к сохранению своего гомеостаза.

Стресс, в нашем понимании, соответствует понятиям "дистресс" [17], "срочная адаптация", "аварийная адаптация", "аварийно-приспособительная регуляция" [1].

Если стресс-фактор не превышает определенной для конкретного организма величины (нормы реакции) и организм выживает, то стрессовая реакция неизбежно переходит в стадию устойчивости (адаптации). Проявления этой стадии очень отличаются от стадии тревоги, т. к. обусловлены противоположным информационно-энергетическим процессом — нарастанием энтропии. Последняя повышается до полного резонанса колебательных процессов организма и новых информационных сигналов. С этого момента система начинает эволюционировать относительно новой информации и главенствующими становятся процессы адаптации, обеспечивающие устойчивость организма к экстремальным воздействиям.

В связи с этим, с позиций информационно-энергетической теории рас-

смотрим одно из ключевых понятий интродукции растений — **адаптацию**. Это приоритетное понятие является одновременно и самым спорным. Существует множество его определений, но отсутствует общепринятое. В медицине и физиологии человека и животных сложились определенные представления, претендующие на роль теории адаптации. В интродукции растений, как справедливо отмечает Н.А. Базилевская [2], подобной теории нет, а необходимость ее создания, учитывая специфику и особенности науки о переселении растений как эколого-географической проблемы, сомнений не вызывает.

Понятие "адаптация" в современной литературе рассматривается очень широко. Преобладает мнение, согласно которому любые изменения, происходящие в организме в результате его пребывания в неоптимальных условиях среды, называются адаптивными. По существу адаптация рассматривается как синоним процесса жизнедеятельности. Такое широкое толкование лишает это понятие конкретного содержания. Взгляды на процесс адаптации подробно излагаются в фундаментальных трудах Н.В. Тимофеева-Ресовского и др. [22] и В.П. Казначеева [14], а в интродукционном аспекте — в нашем обзоре основных понятий науки о переселении растений [7]. Это позволяет нам не останавливаться на современных взглядах на природу адаптаций и подчеркнуть лишь два принципиальных момента.

Процессы адаптации можно рассматривать с разных позиций и в зависимости от исходных критериев (биологических, физиологических, термодинамических, кибернетических) соответственно будут меняться и опре-



деления этого понятия. Адаптация может рассматриваться и на разных уровнях организации биосистемы. Это также накладывает свою специфику на определение рассматриваемого понятия.

Вероятно, нет смысла относить к адапционным все реакции, направленные на поддержание постоянства внутренней среды, в том числе и те, которые осуществляются с использованием механизмов обеспечения гомеостаза. Адаптационными следует считать только те из них, которые связаны с изменением гомеостаза. Это определение предполагает в качестве критериев адаптации учитывать только нарушения в структуре гомеостатического регулирования.

С позиций информационно-энергетической теории адаптация имеет физическую основу и рассматривается как процесс резонансного взаимодействия организма и новой информации (информационных сигналов). При этом образуется более специализированная и устойчивая (адаптированная) структура. Ее основным признаком является высокая экономичность функционирования. Последнее утверждение подтверждается нашими опытами по определению теплотворной способности растений, находящихся в оптимальных и экстремальных условиях среды [4, 5, 8]. В оптимальных условиях, характерных для адаптированных систем, значение этого энергетического показателя является минимальным. В экстремальных условиях резко возрастает интенсификация всех процессов жизнедеятельности, что связано с повышением энергетических затрат организма (эта закономерность отмечена нами на видовом уровне организации растений, но, вероятно, она носит универсальный характер и

проявляется на разных иерархических уровнях).

В целом, с позиции информационно-энергетической теории адаптация представляет собой переход системы в энергетически минимальные и информационно максимальные состояния. С точки зрения интродуктора растений можно утверждать, что в новых экологических условиях растения испытывают воздействие новой информации и закономерно изменяют свою организацию в направлении энергетической минимализации и максимальной упорядоченности относительно действующей информации, т. е. в процессе их развития в новых условиях энергетическая ценность новой информации стремится к нулю, а информационная — к максимуму.

В контексте информационно-энергетической теории рассмотрим еще одно важное понятие, тесно связанное с проблемой устойчивости интродуцированных растений и именуемое **гомеостазом**.

Анализ литературных данных по проблеме гомеостаза свидетельствует о существовании множества его трактовок. Преобладает мнение, что понятие "гомеостаз" по своему существу близко к понятию "адаптация". П.Д. Горизонтов [11] утверждает, что само определение понятия "гомеостаз" — дело будущего. В.А. Шевченко [23] приходит к заключению, что гомеостаз как постоянство внутренней среды реально не существует. Однако это понятие остается одним из центральных при изучении физиологических процессов. По-видимому, наиболее объективно отражает сущность этого явления формулировка с позиций информационно-энергетической концепции [5]. Гомеостаз — это самое низкое энерге-



тическое и максимально упорядоченное состояние организма в определенных условиях существования. Такое определение почти идентично формулировке понятия "адаптация" (по нашему определению, это переход организмов в информационно максимальные и энергетически минимальные состояния [5, 7]). Иными словами, гомеостаз представляет собой максимально адаптированное в конкретных условиях состояние, т. е. конечный пункт эволюции функций организма. Последнее утверждение согласуется с определением В.А. Шевченко [23, с. 135]: "гомеостаз — это комплекс физиологических параметров организма, находящегося в конечном пункте эволюции его функций". Приведенные рассуждения противоречат классическому представлению о гомеостазе как о постоянстве внутренней среды организма и заставляют внести поправку о динамическом постоянстве. Конкретные закономерности этого понятия на разных иерархических уровнях изучены недостаточно.

Рассмотренные базовые понятия активно используются не только в интродукции растений, но и во многих отраслях медико-биологических дисциплин. Исторически они развивались независимо друг от друга, имеют свои собственные определения основных понятий и терминов, оперируют разной системой взаимно не согласованных величин. В то же время эти дисциплины с разных сторон изучают по сути одну и ту же общую систему "организм — окружающая среда". Назрела необходимость с позиций информационно-энергетической теории на новой концептуальной основе свести в единую систему обширный теоретический и практический материал многих био-

логических наук, что может способствовать качественному подъему теоретического уровня интродукции растений и других смежных биологических дисциплин.

Одним из наиболее интересных следствий информационно-энергетической концепции является "эффект границы", определяющий дискретность как отдельных особей, так и фитоценозов. Это объясняется тем, что информация появляется только на границе раздела двух сред. Если дискретность организма очевидна (он представляет собой ограниченную в пространстве и во времени особь), то фитоценозы обычно образуют сплошной покров, целостность которого нарушается в результате деятельности человека и в крайне неблагоприятных условиях. На фоне непрерывности растительного покрова выделяются отдельные участки, однородные по составу, характеру сезонных явлений, связям со средой и другим особенностям. Границы между этими однотипными участками бывают явными (резкими) или плавными (постепенными). Например, в геоботанике выделяют резкие, мозаичные, диффузные и каемчатые границы между фитоценозами [10]. Существуют резкие или плавные границы природных и интродукционных видовых популяций. Обычный традиционный подход к изучению фитоценозов и популяций предполагает выделение типичных их фрагментов. Без внимания часто остаются "нетипичные" периферийные или окраинные растительные сообщества. Наглядной иллюстрацией этого подхода является высказывание В.Н. Сукачева [20, с. 62]: "Нельзя выбирать пробные площади там, где мы имеем переход одного типа леса в другой. Надо

стремиться, чтобы эти площади возможно лучше характеризовали тип леса". В настоящее время становится очевидным, что проблема изучения фитоценозов и популяций разного иерархического ранга предполагает познание широкого круга явлений, наблюдаемых в зонах их контакта. Эти зоны по многим показателям значительно отличаются от своего окружения и представляют собой уникальную среду существования растений.

Явление "эффекта границы" в ботанике определяется понятием "экоTON", под которым подразумевается пояс напряжения между двумя соседствующими сообществами [19]. ЭкоTON обычно имеет значительную линейную протяженность, а его ширина всегда уже территории соседних сообществ и определяется многими факторами: резкими перепадами особенностей внешней среды (изменения почв, рельефа и др.), средообразующим влиянием эдификаторов, конкурентными отношениями между доминирующими видами и т. д.

ЭкоTONы рассматриваются как уникальная среда существования редких и исчезающих видов растений. В их состав входят как виды каждого из прерывающихся сообществ, так и виды, характерные только для экоTONов. Поэтому число и плотность видов в экоTONах бывает выше, чем в соседних сообществах [15].

Попытаемся обосновать этот вывод теоретически с позиций информационно-энергетической концепции. Один из ее постулатов гласит, что информация возникает только на границе раздела двух сред. Чем ближе эта граница, тем больше информация, а максимум наблюдается на границе. Создание новой информации носит

характер фазового перехода и происходит не постепенно, а в виде скачка. Установлено, что при достижении определенных узловых (критических) точек система теряет устойчивость и скачкообразно переходит в новое устойчивое состояние, характеризующееся принципиально иной природой развития процесса [13]. Уравнения, описывающие фазовые переходы, полностью совпадают с уравнениями популяционной генетики, описывающими возникновение новых биологических видов.

Рассмотрим эти утверждения применительно к понятиям "экоTON" и "биоразнообразии". ЭкоTON — это граница двух сред и источник новой информации, проявляющейся в процессах видо- или формообразования. Этот вывод отражает особенности экоTONа как уникальной среды обитания растений, объясняет существование специфических "экоTONных" видов и высокую степень биоразнообразия этой зоны и является следствием теории информации, но может быть выражен и в терминах энтропии: область вблизи границы (экоTONа) обладает бóльшей энтропией (разнообразием стимулов), чем области вдали от нее.

"Эффект границы" проявляется во многих формах поведения живых организмов и полностью отражает известное определение информации как меры разнообразия. Все пограничные зоны (опушка леса, берег водоема, граница пашни) характеризуются разнообразием условий, т. е. информативностью, что является хорошей предпосылкой и стимулом к повышению числа и плотности видов. Вероятно, эта закономерность характерна для разных уровней организации живых организмов. На биосферном уровне она



проявляется в повышенной плотности биомассы на границе трех сред — океана, суши и атмосферы.

Таким образом, проблемы, связанные с понятием "экотон", можно рассматривать с двух противоположных позиций. Первая из них подразумевает переход от собранных в результате полевых исследований фактов и наблюдений к обобщающим выводам и теориям, которые основываются на этих материалах (индуктивный метод). Вторая — предполагает обратную последовательность: построение умозрительных теорий (гипотез, концепций) с последующей их проверкой (дедуктивный метод). Примером последнего подхода к исследованию рассматриваемого феномена является построение гипотезы о сущности явлений в полосе экотона на основе идей теории информации и последующая ее проверка. Использование этих двух равнозначных подходов приводит к одинаковым выводам, но себестоимость научной информации (результатов), добытой теоретическим путем, намного ниже себестоимости информации, полученной в результате экспедиционного сбора материалов. В связи с этим уместно привести известное выражение "нет ничего практичнее хорошей теории".

Оперируя представлениями информационно-энергетической теории, определяющей механизм взаимодействия в системе "организм — среда", можно полнее представить себе механизмы обеспечения устойчивости организмов в отклоняющихся от оптимума условиях внешней среды. Вероятно, значение этой теории определяется самой спецификой существования живых организмов, которая заключается в их способности достигать устойчивого состояния информационным способом. При

этом обеспечивается чрезвычайно экономный расход энергии на взаимодействие организмов с информационными (экологическими) сигналами и на ответные реакции на эти возмущения (по своей экономичности живые организмы превосходят все известные самоуправляемые системы).

Наши представления об устойчивости (надежности) организмов разного уровня организации с позиций "максимума информации" и "экономии энергии" могут найти практическое применение в интродукции растений, сохранении биологического разнообразия растений *ex situ* и моделировании искусственных фитоценозов в ботанических садах и дендропарках [3–5]. В связи с этим приобретает актуальность поиск надежных критериев устойчивости. При всем их разнообразии наиболее значимыми являются информационно-энергетические показатели устойчивости. Они достаточно адекватно оценивают состояние растений в новых для них условиях и могут характеризовать разные формы устойчивости (инертность, способность к восстановлению, пластичность). Информационные показатели отражают такое всеобщее свойство живых систем, как разнообразие, и определяют степень зависимости между разнообразием растительных сообществ и их устойчивостью. Особенности использования многочисленных показателей биоразнообразия изучены достаточно детально [9, 12]. Из существующих способов оценки разнообразия (индексы Шеннона, Маргалефа и Менхиника, Бриллюэна, Симпсона, Макинтоша и др.) большее значение, вероятно, имеют индексы Шеннона и Симпсона. Одним из существенных преимуществ первого из них следует признать способность

дифференцировать сообщества с одинаковым видовым богатством, но с разной структурой доминирования. Второй — наиболее пригоден для сообществ, характеризующихся высокой миграцией видов (это в первую очередь относится к искусственным сообществам), другие показатели в этом отношении непригодны для использования. Обратим внимание и на преимущества мультипликативной функции структурной сложности сообществ [12]. Этот интегральный показатель учитывает и таксономическую структуру сообществ, и их долевую представленность (обилие) на разных таксономических уровнях (последнее преимущество не характерно для индекса Шеннона).

Информационно-энергетическая теория позволяет понять значение для живых организмов тех информационных сигналов, которые не воздействуют в настоящее время, но оказывали свое влияние в прошлом (эффект памяти). Например, растения воспринимают не только текущую погоду, но и "помнят" последний дождь, его интенсивность и продолжительность, а также предшествовавшую ему погоду. На этом основании можно рассчитать комплексный метеорологический показатель влажности растений [16].

Понятие "память" в полной степени относится и к почве. Достаточно вспомнить два прочно устоявшихся понятия "почва-память" и "почва-момент" [21]. Почва-память — это совокупность устойчивых и консервативных свойств почвенного профиля, являющихся результатом действия факторов и процессов почвообразования в течение всего периода его формирования. Под почвой-моментом понимают совокупность динамических и лабильных

свойств почвы, являющихся результатом действия факторов и процессов почвообразования в момент наблюдения или вблизи него. У этих двух понятий нет принципиальных отличий. У почвы-момента тоже есть память, но очень "короткая", быстро и легко стирающаяся. Понятие "память" в почвоведении играет исключительно важную роль. В сельском хозяйстве составляются почвенные карты, объектом которых является главным образом почва-память. Значение этих карт очевидно. Они представляют собой основу планирования сельского хозяйства.

Таким образом, существует сложная система взаимосвязей в системе "организм — среда". Ее механизм (сложная система приема, хранения и передачи информации) объясняет информационно-энергетическая теория [5]. Информационные сигналы среды имеют свойство сохраняться в "памяти" живого организма. Аккумуляция информации представляет собой своеобразный процесс "обучения" организма в его индивидуальном развитии, в результате которого расширяются его приспособительные возможности. В нужном случае (обычно при изменении условий среды) организм извлекает из своего банка информации ту, которая ему необходима в данный момент и преобразует ее в соответствующие признаки.

Рассмотренными аспектами практического использования информационно-энергетической теории далеко не ограничиваются ее возможности. Существуют и другие перспективные направления в области интродукции растений и сохранения генофонда редких и исчезающих видов в ботанических садах и дендропарках, развитие которых могут способствовать



отдельные положения теории информации. Одним из них является моделирование устойчивых культурфитоценозов и управление основными параметрами этих искусственных систем. Исследования в этом направлении могут быть основаны на известном положении о взаимосвязи понятий "информация" и "управление". Развитие этих представлений — предмет наших дальнейших исследований.

1. Амосов Н.М. Регуляция жизненных функций и кибернетика. — К.: Наук. думка, 1964. — 115 с.
2. Базилевская Н.А. Об основах теории адаптации растений при интродукции // Бюл. Гл. ботан. сада. — 1981. — Вып. 120. — С. 3–9.
3. Булах П.Е. Энергетическая концепция сохранения генофонда редких и исчезающих видов в ботанических садах // Охорона генофонду рослин в Україні: Тези доп. наук. конф. — Донецьк, 1994. — С. 111–112.
4. 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.
5. Булах П.Е. Информационно-энергетическая теория интродукции растений // Интродукція рослин. — 1999. — № 3–4. — С. 22–29.
6. Булах П.Е. Основные особенности становления и развития интродукции растений в системе биологических наук // Вісник Полтавського державного сільськогосподарського інституту. — 2001а. — № 1. — С. 31–34.
7. Булах П.Е. Основные понятия и термины интродукции растений // Интродукція рослин. — 2001б. — № 1–2. — С. 132–138.

8. Булах П.Е. Понятие "жизненность" в интродукции растений как отражение устойчивости и энергетического состояния организмов // Интродукція рослин. — 2001в. — № 3–4. — С. 13–23.

9. Булах П.Е. Критерии устойчивости в интродукции растений // Интродукція рослин. — 2002. — № 2. — С. 43–53.

10. Воронов А.Г. Геоботаника. — М.: Высшая школа, 1973. — 384 с.

11. Горизонтов П.Д. Гомеостаз, его механизмы и значение // Гомеостаз. — М.: Медицина, 1981. — С. 5–28.

12. Емельянов И.Г. Разнообразие и его роль в функциональной устойчивости и эволюции экосистем. — К., 1999. — 168 с.

13. Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Критические уровни в процессах развития биологических систем. — М.: Наука, 1982. — 180 с.

14. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. — Новосибирск: Наука, 1980. — 192 с.

15. Мельник В.И. Редкие виды флоры равнинных лесов Украины. — К.: Фитосоциоцентр, 2000. — 212 с.

16. Нестеров В.Г. Вопросы управления природой. — М.: Лесн. пром-сть, 1981. — 264 с.

17. Селье Г. На уровне целого организма. — М.: Наука, 1972. — 122 с.

18. Селье Г. Концепция стресса как мы ее представляем себе в 1976 году // Новое о гормонах и механизме их действия. — К.: Наук. думка, 1977. — С. 27–51.

19. Словарь общегеографических терминов. — М.: Прогресс, 1975. — Т. 1. — 408 с.

20. Сукачев В.Н. Избранные труды. — Л.: Наука, 1973. — Т. 2. — 352 с.

21. Таргульян В.О., Соколов И.А. Структурный и функциональный подход к почве: почва-память и почва-момент // Математическое моделирование в экологии. — М.: Наука, 1978. — С. 17–33.

22. Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. — М.: Наука, 1977. — 297 с.

23. Шевченко В.А. Универсальный природный цикл. — К.: Вища шк., 1992. — 171 с.



ЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ І ОСНОВНІ ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ В ІНТРОДУКЦІЇ РОСЛИН

П.Є. Булах

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

Обговорюються роль і значення інформаційно-енергетичної теорії в інтродукції рослин та пов'язаних з нею суміжних дисциплінах.

IMPORTANCE OF INFORMATION-ENERGETIC THEORY AND THE MAIN PROSPECTS OF ITS APPLICATION IN PLANT INTRODUCTION

P.E. Bulakh

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

The role and importance of information-energetic theory in plant introduction and adjacent branches of science are considered.