

---

# ЕКОЛОГІЧНА БОТАНІКА ТА ПРОБЛЕМИ ІНТРОДУКЦІЇ РОСЛИН

---

УДК 58.087+581.1

И. А. Зайцева

## ЭНТРОПИЙНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ: ИНФОРМАЦИОННЫЙ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара*

На основе комплексного изучения физиолого-биохимических и водообменных процессов видов сиреней, чубушников и дейций, интродуцированных в ботаническом саду ДНУ, проведена количественная оценка информационных и термодинамических критериев структурно-функциональной организации растений и их сравнительный анализ на примере видов, различных по происхождению и адаптивным возможностям. Установлено, что показатели негэнтропии, термодинамической энтропии и потенциала Гиббса коррелируют между собой и с оценками полевой засухоустойчивости растений. Показаны возможности использования разработанной методологии в экспресс-диагностике устойчивости древесно-кустарниковых интродуцентов.

*Ключевые слова:* энтропийные характеристики, устойчивость растений, информационный и термодинамический подходы.

I. O. Zaitzeva

*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара*

## ЕНТРОПІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТІЙКОСТІ РОСЛИН: ІНФОРМАЦІЙНИЙ ТА ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ПІДХОДИ

На основі комплексного вивчення фізіолого-біохімічних і водообмінних процесів видів бузків, садових жасминів й дейцій, інтродукованих у ботанічному саду ДНУ, проведена кількісна оцінка інформаційних і термодинамічних критеріїв структурно-функціональної організації рослин та їх порівняльний аналіз на прикладі видів, що різняться за походженням та адаптивними можливостями. Установлено, що показники негэнтропії (імовірнісної характеристики різноманіття станів системи та її детермінованості), термодинамічної ентропії та потенціалу Гіббса корелюють між собою і з оцінками польової посухостійкості рослин. Показані можливості використання розробленої методології в експрес-діагностиці стійкості деревно-чагарникових інтродуцентів.

*Ключові слова:* ентропійні характеристики, стійкість рослин, інформаційний та термодинамічний підходи.

I. O. Zaitzeva

*O. Gonchar Dnipropetrovsk National University*

## INFORMATION AND THERMODINAMIC ENTROPY AS CHARACTERISTICS OF PLANT STABILITY

The results of complete study of physiology, biochemistry and water exchange property of plants *Syringa L.*, *Deutzia Thunb.*, *Philadelphus L.* from Dnipropetrovsk botanic garden were obtained. It was established that functions of negentropy (characteristics of different states and determination of systems) and thermodynamic entropy function have correlation between one another and have a direct connection for stability to water stress. Possibilities of using the principles of

---

© Зайцева И. А., 2012

thermodynamic and theory of information to estimate the structure and function organization of plants were demonstrated in this research. The developed methodology may be used in creation of new principles of express-diagnostic stability of trees' and bushes' introduction.

*Key words: entropic characteristics, plant stability, informational and thermodynamic approaches.*

Изучение возможностей использования древесно-кустарниковых растений в формировании насаждений с защитными и фитомелиоративными функциями является сегодня актуальной проблемой, которую необходимо решать в комплексе мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию ее ресурсов. Растительные компоненты антропогенно преобразованных ландшафтов – сельскохозяйственных, урбанизированных, индустриальных – приобретают особое значение в степной зоне Украины с неблагоприятными лесорастительными условиями. Состав природной арборифлоры в степной зоне довольно ограничен, и из него используется в насаждениях культурфитоценозов не более одной трети видов – наиболее декоративных и устойчивых пород. В связи с этим весьма актуальной является проблема расширения биоразнообразия насаждений за счет новых пород древесно-кустарниковых растений, как активного средообразующего компонента.

Основная роль в повышении эстетической и функциональной ценности насаждений отводится видам, интродуцированным из других районов произрастания. Широкое привлечение дендрологических ресурсов, источником которых являются ботанические сады и дендрарии, предполагает прежде всего комплексное исследование устойчивости и механизмов адаптации растений в условиях нового интродукционного ареала.

Накопленный к настоящему времени фактический экспериментальный материал относительно различных сторон жизнедеятельности и функционирования интродуцентов дает представление об отдельных компонентах сложной цепи адаптивных реакций. Выявление каких-либо закономерностей адаптивного процесса возможно на основе системного анализа и прогностических оценок поведения растений в новых условиях произрастания. Наиболее перспективным подходом для решения подобной задачи является привлечение понятий системного анализа и методологии теории информации, с одной стороны, и термодинамического подхода с другой стороны (Мельник, 2003). Основным количественным показателем в первом случае является информационная энтропия, которая отражает вероятностные характеристики оценки уровня сложности и организации биосистем. В то же время, в общем термодинамическом аспекте понятие энтропии характеризует структурные особенности растительных организмов, что, в свою очередь, напрямую связано с устойчивостью и надежностью биосистем. В настоящем исследовании мы впервые предприняли попытку сопоставить между собой показатели информационной и термодинамической энтропии. Для оценки первого использовали массив физиолого-биохимических данных по активности окислительных процессов растений, второго – динамические характеристики водоотдачи листа как критерий компартментации внутриклеточной воды мезофилла и, соответственно, его морфоструктуры. Таким образом, целью нашего исследования являлось получение интегральных оценок адаптивной способности растений, отражающих особенности структурной и функциональной организации растительного организма.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись ценные в декоративном отношении красивоцветущие кустарники, интродуцированные в ботаническом саду Днепропетровского национального университета – представители родовых комплексов *Philadelphus* L. (Чубушник), *Deutzia* Thunb. (Дейция) и *Syringa* L. (Сирень), которые характеризуются разной степенью приживаемости в ботаническом саду, и соответственно различными адаптивными возможностями в условиях данного района интродукции (Зайцева, 2010). Среди изучаемых видов есть представители флоры Южной и Средней Европы, Малой Азии (*Ph. coronarius* L.,

*S. vulgaris* L., *S. josikaea* Jack.), Дальнего Востока и Северо-Восточного Китая (*Ph. schrenkii* Rupr., *S. oblata* Lindl.), Центрального и Юго-Западного Китая (*Ph. magdalenae* Koechne, *D. discolor* Hemsl., *S. reflexa* C.K.Schneid., *S. yunnanensis* Franch.), Японии (*Ph. satsumanus* Miq., *D. sieboldiana* Maxim.), японо-китайской флоры (*D. scabra* Thunb.), Атлантического (*Ph. latifolius* Schrad., *Ph. grandiflorus* Willd.) и Тихоокеанского (*Ph. californicus* Benth., *Ph. mexicanus* Schlecht.) регионов Северной Америки, а также виды из Гималаев (*D. staminea* R.Br.) и Средней Азии (*S. persica* L.).

В ходе работы проводился комплексный анализ физиолого-биохимических показателей, характеризующих активность одного из основных звеньев метаболизма – окислительно-восстановительных процессов растительных тканей. Исследования проводились в динамике в течение вегетационного и осенне-зимнего периода, в соответствии с фазами сезонного роста и развития растений. Об активности процессов биологического окисления судили по показателям интенсивности дыхания и активности окислительно-восстановительных ферментов – каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы (Починок, 1976; Физиология .., 1995). Полученный массив данных являлся предметом дальнейшего анализа с использованием информационно-математических критериев.

Характер водоотдачи изучали путем измерения сырого веса листа при завядании на протяжении 6 часов с интервалами в 5–10 минут. Вычитая сухой вес листа, находили количество воды в каждый момент времени  $t_i$ . Энтропийные показатели симпластического компартмента тканевой воды мезофилла листьев определяли, анализируя кривые динамики потери воды листовой пластинкой в различных температурных условиях – при температурах 20 °С и 32 °С. Данная методология, апробированная нами в предыдущих исследованиях (Шматько, 1990), позволяет определить термодинамический потенциал Гиббса воды симпласта и энтропию, обусловленную структурной организацией этого компартмента тканевой воды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований содержат два блока экспериментальных данных, к анализу которых мы применили разные подходы. Первый включает динамику сезонных изменений интенсивности дыхания, активности каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы в листьях у восьми видов чубушников, четырех видов дейций и шести видов сиреней. Эти экспериментальные данные освещены в предыдущих наших работах (Долгова, 2004, 2005; Зайцева, 2006).

Все полученные динамические характеристики окислительных реакций, как и других обменных процессов, мы рассматриваем как результат реализации реакции растений на определенные информационные воздействия внешних факторов и взаимовлияния внутренних информационных процессов (Урманцев, 1989; Кошкин, 1988; Булах, 1999; Галушко, 1999). Поэтому диапазон варьирования изучаемых показателей служит критерием меры сложности, или организации вида как целостной биосистемы.

Поскольку любое разнообразие элементов сложной системы может быть представлено как множество, то можно определить количество информации, заложенное в структуре системы, как функцию множества (Бандарин, 1974). В логарифмическом представлении это выражение выглядит так:

$$H = \log_2 N \quad (1),$$

где  $H$  – количество разнообразия, или информации в системе, или ее информационная емкость;  $N$  – число состояний системы.

В реальных биологических системах всегда присутствует неравномерное распределение вероятностей элементов системы, поэтому разнообразие, или неопределенность сложной системы будет выражаться суммой произведений вероятностей ( $p_i$ ) всех возможных состояний на соответствующие логарифмы их вероятностей:

$$\sum H_i = -\sum p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

Сумма всех вероятностей составляет 1. Для систем с равновероятными состояниями  $H = \sum \log_2 p_i = \sum \log_2 N = 1$ . Величина  $H$ , в которой отражены

вероятностные информационные характеристики, получила название информационной энтропии, или негэнтропии (Леонтьев, 1981). При увеличении энтропии растет неопределенность биосистемы, что является признаком ее дезорганизации. При достижении максимума энтропии увеличивается однородность (гомогенность) элементов системы, которая находится в состоянии наибольшей неопределенности, или равенства вероятностей всех состояний, что для биологических систем соответствует их гибели. Таким образом, важным аспектом информационных оценок биосистем является не только степень разнообразия элементов (диапазон изменчивости признака), но и вероятность нахождения системы в том или ином состоянии (частота встречаемости градаций признака).

Исходя из этих посылок, в данной работе проведена оценка информационных характеристик состояния растений-интродуцентов, как сложных биологических систем. Сложность комплексного сравнительного анализа уровня жизнедеятельности видов интродуцентов заключалась в различных диапазонах численных значений полученных величин и разной их размерности. Диапазоны величин изучаемых показателей в обобщенном виде приведены в табл. 1.

Экспериментальные данные по разным показателям представили в относительных единицах, что позволило их сравнивать. Для этого значения каждого показателя по каждому виду относили к соответствующему обобщенному максимуму (табл. 1), который принимали за единицу. Таким образом, значения всех измерений по каждому виду, выполненных за весь период исследований, нормировали к единице. По нормированным данным для каждого вида был составлен обобщенный вариационный ряд, который включал 57 вариант (дат), т.е.  $N=57$ . Из него формировали взвешенный ряд, исходя из пяти градаций (классов) варьирования признаков, выраженных в относительных единицах.

Таблица 1

**Диапазон изменений показателей функциональной активности у растений-интродуцентов в течение вегетационного периода**

Показатель, размерность	Количество экспериментальных данных по каждому виду растений*	<i>Philadelphus L.</i> (8 видов)	<i>Deutzia Thunb.</i> (4 вида)	<i>Hydrangea L.</i> (2 вида)	<i>Syringa L.</i> (6 видов)	Обобщенный максимум
Интенсивность дыхания, мг CO <sub>2</sub> /г·ч	18 / 12	0,082–3,190	0,110–2,035	0,163–1,760	0,192–1,650	3,200
Активность каталазы, мкМоль H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /г·мин	– / 9	322,3–1048,0	243,6–744,6	391,7–709,6	631,0–022,0	1050,0
Активность пероксидазы, мкМоль гваякола/г·мин	– / 9	13,62–123,05	1,23–13,81	15,92–102,37	20,80–98,42	125,0
Активность полифенолоксидазы, мкМоль аскорб. кислоты / г·мин	– / 9	16,77–148,85	6,35–36,67	31,46–77,19	76,15–145,5	150,0

\* Примечание: в числителе – данные по побегам; в знаменателе – по листьям.

Распределение относительных величин по группам значений – классам (частота  $f_i$ ) в каждом вариационном ряду выражали в долях относительно общего числа членов вариационного ряда ( $N$ ) и получали таким образом величину  $p_i$ , отражающую вероятность (встречаемость) отдельных величин признака. Величину энтропии каждой размерной группы (класса) рассчитывали по формуле

$$H_i = p_i \log_2 p_i \quad (3),$$

а их суммой  $\Sigma H_i = H$  выражали величину негэнтропии растительного организма как целостной биологической системы. Предложенный подход, который заключается в интеграции значений различных показателей за весь период наблюдений по каждому виду (Зайцева, 2007а), позволяет максимально оценить реализацию возможных состояний изучаемой системы, т.е. распределение частот  $p_i$ .

Максимально возможное значение энтропии  $H_{max}$  рассчитывали как логарифм по основанию 2 числа групп, или классов, на которые был разбит вариационный ряд (5 классов). Для всех вариантов анализа  $H_{max} = \log_2 5 = 2,32$ . Сравнивать величину энтропии лучше, прибегнув к показателю относительной энтропии  $h$ , для чего  $H_{max}$  принимали за 1,0, а все значения  $H$ , рассчитанные по экспериментальным данным, выражали в долях к 1,0. Значения текущей (реализованной) энтропии в абсолютных ( $H$ ) и относительных ( $h$ ) величинах представлены в табл. 2.

На втором этапе анализировали экспериментальные данные по динамике водоотдачи листьев, для чего были рассчитаны скорости водоотдачи (Зайцева, 2004, 2006). При этом исходили из соображений, что изменение массы воды в листе при завядании происходит в соответствии с уравнением

$$\frac{dm(t)}{dt} = -k(t)m(t) \quad (4)$$

где  $m(t)$  – масса воды симпласта, изменяющаяся во времени, г;  $k(t)$  – константа скорости потери воды симпласта, г/мин;  $t$  – время, мин.

Таблица 2

**Энтропийные характеристики, показатели скорости водоотдачи и засухоустойчивости растений-интродуцентов**

Вид	$H$	$h$	$k_1$ , г/мин (при 20 °С)	$k_2$ , г/мин (при 32 °С)	$\Delta S$ , Дж/мол ° град	$G$ , кДж/мол ь	Балл засу- хоустой - чивости
<i>Ph.coronarius</i>	1,993	0,85	0,0036	0,0137	200	82,747	5
<i>Ph.schrenkii</i>	1,842	0,79	0,0014	0,0043	114	69,477	2,5
<i>Ph.magdalenae</i>	2,216	0,95	0,0029	0,0089	188	69,427	3,5
<i>Ph.satsumanus</i>	2,206	0,95	0,0013	0,0033	233	84,630	3
<i>Ph.latifolius</i>	1,895	0,82	0,0015	0,0084	182	106,665	4
<i>Ph.californicus</i>	1,928	0,83	0,0021	0,0046	114	48,548	4
<i>Ph.mexicanus</i>	1,934	0,83	0,019	0,0077	143	86,641	5
<i>D.scabra</i>	1,564	0,67	0,0035	0,0083	136	53,463	5
<i>D.discolor</i>	1,688	0,72	0,0040	0,0123	191	69,549	4
<i>D.sieboldiana</i>	1,687	0,72	0,0027	0,0079	336	110,167	3
<i>D.staminea</i>	1,361	0,58	0,0039	0,0130	108	74,544	5
<i>S.vulgaris</i>	1,975	0,85	0,0030	0,0061	101	43,939	5
<i>S.josikae</i>	2,177	0,94	0,0013	0,0040	162	69,588	3,5
<i>S.persica</i>	2,062	0,89	0,0008	0,0016	112	50,208	5
<i>S.oblata</i>	2,281	0,98	0,0007	0,0019	150	61,823	4,5
<i>S.reflexa</i>	1,841	0,79	0,0015	0,0027	70	36,392	5
<i>S.yunnanensis</i>	2,237	0,96	0,0008	0,0052	110	115,892	5

В интервале времени водоотдачи, когда сохраняется структурная целостность мембран, константа скорости испарения воды симпласта изменяется мало, т.е. можно принять  $k(t) \approx \text{const}$  (г/мин).

Решением уравнения (4) есть выражение

$$\ln m(t) = -kt + \ln(m_0), \quad (5)$$

которое в графическом представлении в логарифмических координатах дает линейный характер динамических кривых водоотдачи. На рис. 1 показаны на примере *S. vulgaris* типичные кривые динамики водоотдачи тканей листьев при разных температурах в логарифмическом представлении, а также приведены уравнения линейной регрессии, соответствующие двум температурам. Свободный член в этих уравнениях  $\ln(m_0)$  определяет начальную массу симпластической воды, аргументом является время  $t$ , число при аргументе – константа скорости водоотдачи  $k$ . Как видно из рис. 1, при  $T_1=20^\circ\text{C}$   $k_1$  составляет 0,0030 г/мин, при  $T_2=32^\circ\text{C}$   $k_2$  увеличивается до 0,0061 г/мин.

Результаты расчета  $k_1$  и  $k_2$  по всем изучаемым видам приведены в табл. 2. Наблюдается температурная зависимость константы скорости водоотдачи. При увеличении температуры на  $10^\circ\text{C}$  скорость процесса водоотдачи возрастает более чем в два раза, что дает основание применить по аналогии общепринятое уравнение Аррениуса для описания температурной зависимости  $k(t)$ :

$$\frac{d \ln k(T)}{dT} = \frac{E_a}{RT^2} \quad (6)$$

где  $k(T)$  – зависящая от температуры константа скорости водоотдачи, г/мин;  $E_a$  – энергия активации (энергетический барьер процесса), Дж/моль;  $T$  – температура по шкале Кельвина, град;  $R$  – универсальная газовая постоянная.

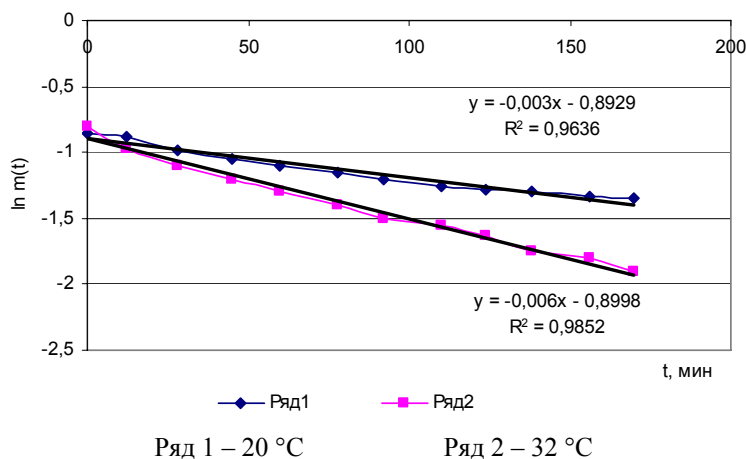


Рис. 1. Логарифмическое представление динамики водоотдачи тканевой воды

Решением уравнения (6) является выражение

$$k(T) = Ae^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (7)$$

где  $A$  – постоянная интегрирования.

Используя известное соотношение между термодинамическими функциями состояния

$$E = G + TS - PV \quad (8)$$

где  $E$  – внутренняя энергия, Дж/моль;  $G$  – термодинамический потенциал Гиббса, Дж/моль;  $T$  – температура по шкале Кельвина, град;  $S$  – энтропия, Дж/моль·град;  $P$  – давление, Па;  $V$  – молярный объем воды,  $\text{м}^3$ .

Учитывая уравнение состояния  $PV=RT$ , выражение (8) можно преобразовать к виду

$$R \ln k(T) = R \ln A' - G \frac{1}{T} - S \quad (9)$$

где  $A' = A \cdot e$ ;  $e$  – основание натурального логарифма.

Поскольку значение энтропии определяется с точностью до аддитивной составляющей, в уравнении (9) можно обобщить две величины:

$$R \ln A' - S = \Delta S \quad (10)$$

Тогда из (9) получим

$$R \ln k(T) = -G \frac{1}{T} + \Delta S \quad (11)$$

Поскольку величины  $k(T)$  рассчитывали для двух температур, согласно (11) можно записать алгебраическую систему из двух уравнений, решая которую определим значения  $G$  (термодинамический потенциал Гиббса), характеризующий осмотическую составляющую протопласта, и  $\Delta S$  (энтропийный член), характеризующий структурные особенности симпласта. Используя выражение (11) для двух температур  $T_1=293$  °К и  $T_2=302$  °К, получим

$$G = R \ln \left[ \frac{k(T_2)}{k(T_1)} \right] \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \quad (12)$$

$$\Delta S = \frac{1}{2} R \ln [k(T_2)k(T_1)] - \frac{1}{2} G \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \quad (13)$$

Результаты расчетов  $G$  и  $\Delta S$ , представленные в табл. 2, количественно характеризуют направленность формирования адаптивных стратегий интродуцентов в ксеротермных условиях данного интродукционного района. Так, у малоустойчивого вида *D. sieboldiana*, при мезофитной морфоструктуре листа, о чем свидетельствует очень высокое значение  $\Delta S$ , адаптация осуществляется за счет активных осморегуляторных процессов –  $G$  достигает 110,167 кДж/моль. Большая устойчивость *S. yunnanensis* обеспечивается как структурной составляющей (невысокое значение  $\Delta S$ ), так и высоким осмотическим потенциалом, даже несколько превышающим предыдущий вид – 115,892 кДж/моль. У другого устойчивого вида – *S. reflexa* адаптивная стратегия реализуется преимущественно в ксероморфных особенностях морфоструктуры листа, которая характеризуется наиболее низким значением  $\Delta S$  – 70 кДж/моль.

Представляется интересным сопоставить значения энтропии, рассчитанные двумя методами. Связь между информационной энтропией и термодинамическим ее выражением представили графически (рис. 2), для чего на оси  $OX$  по возрастающей расположили значения  $H$  по каждому из изучаемых видов растений, на оси  $OY$  – соответствующие данные  $\Delta S$ . Как видно из приведенных графиков аппроксимации, такая зависимость существует и неплохо выражена ( $R^2=0,546 - 0,653$ ) для столь различных подходов в изучении устойчивости видов. Этот результат, впервые полученный нами, может в дальнейшем найти широкое применение при разработке и внедрении новых экспрессных показателей устойчивости, таких как водоотдача тканей листа.

Полученные значения энтропийных показателей сопоставили с результатами ранее проведенных нами визуальных наблюдений засухоустойчивости растений, выраженных в баллах (Зайцева, 2007б), которые представлены в табл. 2. Засухоустойчивость растений оценивали в период глубокой продолжительной засухи, при этом учитывали такие признаки, как степень тургесцентности, или увядания листьев, наличие некрозов и ожогов на листьях, пожелтение листьев и летний листопад. Оценку проводили по 5-ти балльной шкале, при этом более высокий балл соответствует высокой устойчивости. Рассчитанные регрессионные кривые зависимости степени засухоустойчивости от энтропийных характеристик растений ( $R^2=0,579-0,953$ ) подтверждают выдвинутое нами предположение о том, что засухоустойчивость связана с интегральными показателями информационной и термодинамической энтропии – с увеличением энтропии устойчивость растений снижается.

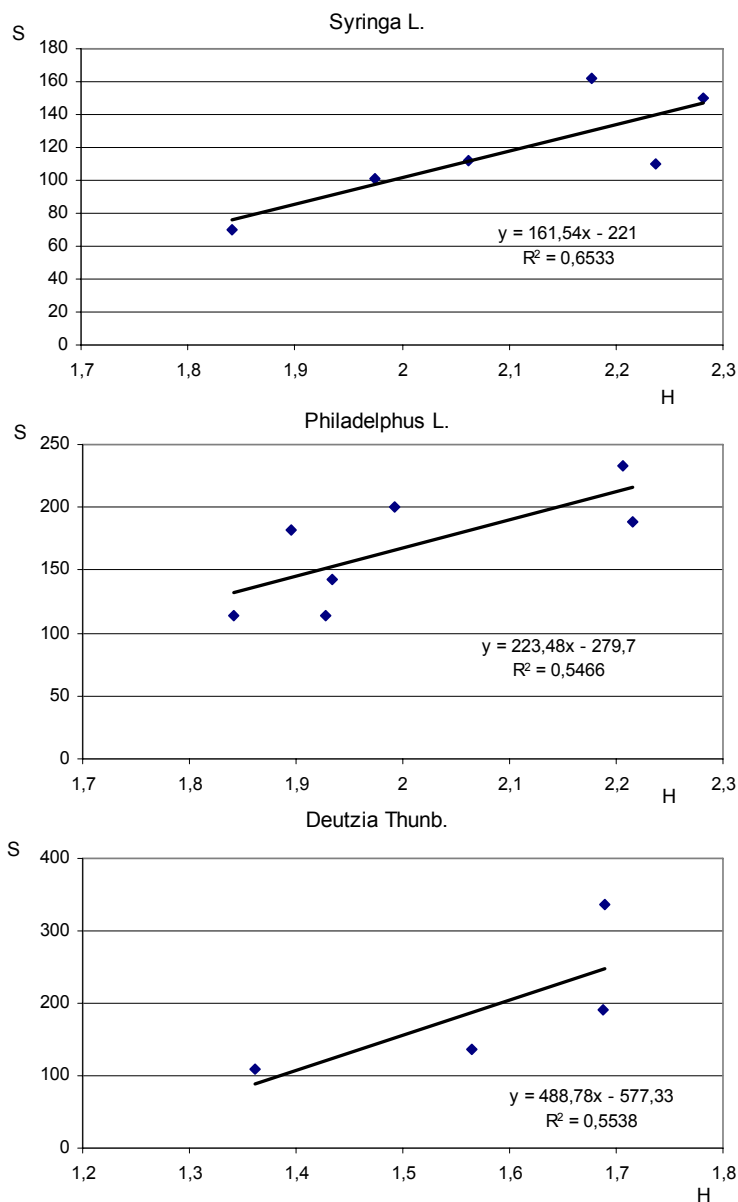


Рис. 2. Линейная регрессия зависимости показателей термодинамической ( $\Delta S$ , кДж/моль·град) и информационной энтропии ( $H$ )

### ВЫВОДЫ

Древесно-кустарниковые растения, интродуцированные из разных природно-климатических районов в степную зону Украины, показали неодинаковый уровень устойчивости, который с высокой степенью достоверности отражают интегральные информационные и термодинамические оценки, полученные на основании целого комплекса физиолого-биохимических данных.

Информационная энтропия, как вероятностно-статистический критерий состояния растительного организма при воздействии внешних факторов, характеризует степень его дезорганизации и величину резервного адаптивного потенциала, который обеспечивает надежность биосистемы. С этими критериями хорошо согласуются термодинамические показатели энтропии и потенциала Гиббса,



характеризующие в наших исследованиях соответственно морфоструктурную и осмотическую составляющие компартментации тканевой воды.

Материалы исследований позволяют рекомендовать простой и быстрый метод количественной оценки скорости водоотдачи листьев с использованием регрессионных моделей для расчета термодинамической энтропии, как адекватный методу информационного анализа. Установленная взаимосвязь информационных и термодинамических характеристик структурно-функциональной организации древесно-кустарниковых интродуцентов может быть положена в основу системного подхода в изучении устойчивости и адаптивных реакций растительного организма.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

**Бандарин В. А.** Основы теории информации и ее применение в медицинских и биологических исследованиях / В. А. Бандарин // Теория информации в медицине. – Минск : Наука и техника, 1974. – С. 6-77.

**Булах П. Е.** Информационно-энергетическая теория интродукции растений / П. Е. Булах // Интродукція рослин. – 1999. – № 3-4. – С. 22-29.

**Галушко Р. В.** Информационная концепция адаптации интродуцированных растений на ЮБК / Р. В. Галушко // Материалы междунар. науч. конф. «Биологическое разнообразие. Интродукция растений». – Спб., 1999. – С. 127-128.

**Долгова Л. Г.** Активность процессов дыхания чубушников / Л. Г. Долгова, И. А. Зайцева // Интродукція рослин. – 2004. – № 2. – С. 73-80.

**Долгова Л. Г.** Інтенсивність дихання видів роду *Syringa L.*, інтродукованих в Степову зону України / Л. Г. Долгова, І. О. Зайцева // Вісник Криворізького технічного ун-ту. – 2005. – Вип. 10. – С. 215-218.

**Зайцева І. О.** Динаміка водообмінних процесів роду *Asarum L.* у зв'язку з їх посухостійкістю / І. О. Зайцева // Вісник ДНУ. Серія «Біологія. Екологія». – 2004. – Вип. 12. – № 1. – С. 54-61.

**Зайцева І. А.** Скорость водоотдачи как критерий засухоустойчивости растений-интродуцентов / И. А. Зайцева // Матеріали міжнар. наук. конф. «Алелопатія та сучасна біологія». – К., 2006. – С. 223-227.

**Зайцева І. А.** Информационный анализ в интродукционных исследованиях / И. А. Зайцева // Интродукція рослин. – 2007а. – № 4. – С. 18-25.

**Зайцева І. А.** Оценка полевой засухоустойчивости древесных интродуцентов / И. А. Зайцева // 36. наук. праць «Фальцфейнівські читання». – Херсон, 2007б. – С. 128-131.

**Зайцева І. О.** Аналіз процесу інтродукції деревно-чагарникових рослин у ботанічному саду ДНУ / І. О. Зайцева // Матеріали міжнар. науково-практ. конф. «Природно-заповідний фонд України – минуле, сьогодення, майбутнє». – Тернопіль, 2010. – С. 333-338.

**Зайцева І. О.** Активність оксидоредуктаз деревних екзотів, інтродукованих в степову зону / І. О. Зайцева, Л. Г. Долгова // Матеріали XII з'їзду УБТ. – Одеса, 2006. – С. 312.

**Кошкин В. М.** Информационная модель адаптации / В. М. Кошкин, Ю. Р. Забродский // Математическое моделирование сложных биологических систем. – М. : Наука, 1988. – С. 141-144.

**Леонтьюк А. С.** Информационный анализ в морфологических исследованиях / А. С. Леонтьюк, Л. А. Леонтьюк, А. И. Сыкалов. – Минск : Наука и техника, 1981. – 160 с.

**Мельник Л. Г.** Фундаментальные основы развития / Л. Г. Мельник. – Сумы : ИТД «Университетская книга», 2003. – 288 с.

**Починок Х. Н.** Методы биохимического анализа растений / Х. Н. Починок. – К. : Наук. думка, 1976. – 384 с.

**Урманцев Ю. А.** Системный подход к проблеме устойчивости растений / Ю. А. Урманцев // Физиология растений. – 1989. – Т. 26. – Вып. 6. – С. 1233-1234.

**Фізіологія рослин.** Практикум / За ред. М. М. Мусієнка. – К. : Вища школа, 1995. – 191 с.

**Шматько І. Г.** Інтенсивність апопластного і симпластного водообміну в тканинах кукурузи / І. Г. Шматько, В. А. Сыроватко, И. А. Зайцева // Физиология и биохимия культурных растений. – 1990. – Т. 22, № 3. – С. 281-286.

*Надійшла до редколегії 15.08.11*