

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI  
TOIMETISED

---

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ  
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS

---

808

СТРУКТУРА И ЛАНДШАФТНО-  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ  
ГЕОСИСТЕМ

Труды по географии

TARTU  1988

---

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED  
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ  
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS  
ALUSTATUD 1893.a. VIINIK 808 ВЫПУСК ОСНОВАНЫ В 1893.г

**СТРУКТУРА И ЛАНДШАФТНО-  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ  
ГЕОСИСТЕМ**

Труды по географии

ТАРТУ 1988

Редакционная коллегия:

Э.Ф. Верел (председатель), А.О. Ковго (отв. ред.),  
И.Х. Мердета, Л.М. Васильев.

## ОЦЕНКА БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОИЗВОДСТВА ЯЧМЕНЯ В РАЗНЫХ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

П. Каринг

Интенсивное преобразование природных ландшафтов в результате развития народного хозяйства и экономического освоения новых земель приводит к необходимости тщательного изучения потенциальных возможностей использования ресурсов в каждом геокомплексе. Особую актуальность этот вопрос приобретает в сельском хозяйстве при разработке методов интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур и применении агрометеорологических мероприятий. Успешное решение этих проблем требует знаний биоклиматического потенциала рассматриваемой территории.

Биоклиматический потенциал (БКП) территории применительно к сельскому хозяйству характеризуется комплексом климатических факторов, который определяет возможности развития сельскохозяйственного производства на рассматриваемой территории (Шашко, 1985). В отношении возделывания отдельных сельскохозяйственных культур БКП в первую очередь выражает связь биологических и метеорологических явлений применительно к конкретной культуре или сорту.

На сельскохозяйственных полях территории Эстонской ССР существенная вариация метеорологических элементов обусловлена воздействием микроклиматобразующих факторов. За основу оценки изменений БКП в зависимости от микроклиматической изменчивости метеорологического режима взята прикладная математическая модель продуктивности ячменя (Федосеев и др., 1983). В данной работе модель усовершенствована в отношении применения в расчетах микроклиматической информации. Изменения продуктивности ячменя в этой модели рассматриваются в виде разных категорий урожаев, учитывающих влияние отдельных климатических факторов. Изучаются изменения урожаев от максимально возможных (при оптимальном влиянии факторов) до самых низких, которые наблюдаются в реальных климатических условиях данной местности.

Возможная продуктивность культуры в этой модели рассчитывается по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) и потенциальному коэффициенту полезного действия ФАР ( $\eta_n$ ), согласно методике, предложенной Х.Г. Тоомингом (Тооминг, 1977). Потенциальный урожай ( $Y_n$ ) рассчитывается по формуле

$$Y_n = \frac{\gamma \sum Q_{\Phi}}{q}, \quad (1)$$

где  $q$  - калорийность растений,

$Q_{\Phi}$  - сумма ФАР за период вегетации ячменя.

Приход ФАР определяется по следующей формуле (Молдау и др., 1963):

$$Q_{\Phi} = 0,42 S' + 0,60 \Phi, \quad (2)$$

где  $S'$  - прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность,

$\Phi$  - рассеянная радиация.

Рассеянная радиация получена как разность

$$\Phi = Q - S', \quad (3)$$

где  $Q$  - суммарная радиация.

Месячные суммы прямой солнечной радиации рассчитаны по формуле А.М.Копылова (Кондратьев, 1965)

$$S' = S_0 \left( 1 - \frac{H + H_m}{2} - K_s \right), \quad (4)$$

где  $H, H_m$  - общая и нижняя облачность,

$K_s$  - эмпирический коэффициент.

На территории Прибалтийских республик месячные и годовые суммы суммарной радиации (Кавалюскас, 1964; Каринг, 1974) целесообразно рассчитывать по формуле М.С.Аверкиева (Аверкиев, 1961)

$$Q = Q_0 \left[ 1 - K_m \left( \frac{H + H_m}{2} \right) \right] \frac{1}{1 - A} \quad (5)$$

где  $Q_0$  - возможная суммарная радиация,

$K_m$  - коэффициент, характеризующий пропускание суммарной радиации облаками,

$A$  - альbedo подстилающей поверхности.

В расчетах месячных сумм суммарной радиации значение коэффициента определено на основе карт альbedo территории Эстонской ССР (Каринг, 1972).

На основе формул (2) - (5) месячные суммы прихода коротковолновой солнечной радиации характеризуют радиационный режим ровных участков. На холмистой местности радиационные характеристики зависят от экспозиции и крутизны склонов. Расчеты показывают, что в условиях Эстонской ССР из всех составляющих радиационного баланса под влиянием рельефа наиболее существенно изменяется приход прямой солнечной радиации на южных и северных склонах. На склонах восточной и западной

ориентации приход прямой радиации мало отличается от прихода радиации на ровном месте.

Для количественной оценки изменений прихода прямой радиации в Эстонской ССР на северных и южных склонах нами использованы рассчитанные Т.А.Голубовой отношения средних суточных сумм прямой радиации на северном и южном склонах к суммам радиации по горизонтальной поверхности для северной широты 59°. Расчеты Т.А.Голубовой проведены по формуле (Голубова, 1967)

$$S_{\text{скл}} = S' \cos i \quad (6)$$

$$\cos i = \cos \alpha \sin h_0 + \sin \alpha \cos h_0 \cos f$$

где  $i$  - угол падения солнечных лучей,  
 $\alpha$  - крутизна склона,  
 $h_0$  - высота Солнца,  
 $f$  - разность азимутов Солнца к проекции нормали на склон.

Результаты расчетов отношения  $K_{\text{скл}} = \frac{S_{\text{скл}}}{S'}$  приведены в таблице I.

Таблица I

Отношение средних суточных сумм прямой радиации на северном и южном склонах к суммам на горизонтальную поверхность (Голубова, 1967)

Крутизна град.	VI	VII	VIII	IX
Северный склон				
5	0,92	0,96	0,98	0,89
10	0,80	0,88	0,90	0,74
20	0,61	0,78	0,82	0,46
Южный склон				
5	1,08	1,04	1,02	1,13
10	1,44	1,06	1,01	1,20
20	1,28	1,12	1,04	1,40

Рассеянная радиация  $D$  мало изменяется в зависимости от рельефа и на склонах может быть с достаточной степенью точности принята равной рассеянной радиации на горизонтальную поверхность

$$D_{\text{скл}} = D \quad (7)$$

Фотосинтетически активная радиация ФАР на склонах определяется согласно формуле

$$Q_{\text{фскл}} = 0,42 S_{\text{скл}} + 0,60 D \quad (8)$$

Суммарная радиация  $Q_{\text{скл}}$  на склонах рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{скл}} = S_{\text{скл}} + D \quad (9)$$

На основе формул (I) и (8) рассчитывается потенциальный урожай на склонах

$$Y_{\text{пскл}} = \frac{\eta \Sigma Q_{\text{фскл}}}{q} \quad (10)$$

Потенциальный урожай  $Y_{\text{п}}$  показывает уровень верхнего предела урожайности культуры, который обеспечивается приходом ФАР данной местности при оптимальном режиме других метеорологических факторов (Тоолинг, 1977). В реально существующих условиях метеорологические факторы продуктивности отличаются от оптимальных, и действительно возможная урожайность ( $Y_{\text{с}}$ ) меньше  $Y_{\text{п}}$  соответственно неоптимальности метеорологического режима. Значения  $Y_{\text{с}}$  рассчитываются по формуле

$$Y_{\text{с}} = Y_{\text{п}} \prod_{i=1}^n F_i(K_i), \quad (11)$$

где  $F_i(K_i)$  - функция, выражающая влияние фактора  $K_i$  на урожай ячменя.

Основным метеорологическим фактором снижения урожаев ячменя является условие увлажнения в период интенсивного накопления биомассы. В Эстонской ССР как недостаточное, так и избыточное увлажнение посевов снижает урожайность (Лаур, 1983). В расчетах  $Y_{\text{с}}$  по формуле (II) условия увлажнения оценены относительным испарением  $K_w$  (коэффициентом увлажнения), определяемым по формуле

$$K_w = \frac{E}{E_0}, \quad (12)$$

где  $E$  - суммарное испарение посева,

$E_0$  - оптимальное водопотребление посева.

Суммарное испарение за рассматриваемый отрезок времени рассчитывается по формуле

$$E = W_{\text{н}} - W_{\text{к}} + X, \quad (13)$$

где  $W_n$  - запасы влаги почвы в начале расчетного периода,  
 $W_k$  - запасы влаги почвы в конце расчетного периода,  
 $x$  - осадки.

За характеристику оптимального водопотребления посевов ячменя приняты приближенные значения испаряемости

$$E_0 = 0,63 RL^{-1}, \quad (I4)$$

где  $R$  - радиационный баланс,  
 $L$  - скрытая теплота парообразования.

При сомкнутом травостое значения  $R$  линейно связаны со значениями поглощенной радиации  $R_k$  (Барашкова и др., 1961). На основе этого в Эстонской ССР значения рассчитаны по соотношению (Karing, 1977)

$$R = a R_k + b, \quad (I5)$$

где  $a, b$  - эмпирические коэффициенты.  
 Поглощенная радиация найдена по формуле

$$R_k = Q(1 - A_g), \quad (I6)$$

где  $A_g$  - альbedo посевов ячменя.

На основе формул (I1) - (I2) действительно возможный урожай с учетом условий увлажнения рассчитывается по формуле

$$Y_w = Y_n K_w, \quad (I7)$$

или с учетом (I2) и (I3)

$$Y_w = Y_n \frac{W_n - W_k + x}{0,63 RL^{-1}} \quad (I8)$$

На ровных участках наибольшую микроклиматическую изменчивость имеют значения влагозапасов  $W_n$  и  $W_k$ . Исходя из сказанного, формулу (I8) можно представить в виде

$$Y_{wm} = Y_n \frac{W_n + \Delta W_n - W_k + \Delta W_k + x}{0,63 RL^{-1}}, \quad (I9)$$

где  $Y_{wm}$  - действительно возможный урожай с учетом микроклиматической изменчивости влагозапасов почвы.  
 $\Delta W_n$  - микроклиматическая поправка изменений весенних влагозапасов,  
 $\Delta W_k$  - микроклиматическая поправка изменений запасов влаги в конце расчетного периода.

Для количественной оценки средних микроклиматических поправок влажности почвы использованы результаты микрокли-

матических наблюдений за влажностью в Выруском и Пярнуском районах за период 1968-1978 гг. Эти исследования обобщены (Ляэне, Юлейыз, 1977; Ляэне, 1980), и предложена следующая микроклиматическая классификация почв по водному режиму (Ляэне, 1980):

1. Сильнозасухоопасные почвы. Весенние запасы влаги в полуметровом слое ниже 50 мм. Средний многолетний минимум 10-20 мм.

2. Засухоопасные почвы. Весенние запасы влаги 50-75 мм, средний многолетний минимум 20-40 мм.

3. Слабозасухоопасные почвы. Весенние запасы влаги 75-100 мм, средний многолетний минимум 30-50 мм.

4. Почвы, обеспеченные влагой. Весенние запасы влаги 100-125 мм, средний многолетний минимум 40-70 мм.

5. Временно избыточно увлажненные почвы. Весенние запасы влаги 125-150 мм, средний многолетний минимум 65-90 мм.

6. Продолжительно избыточно увлажненные почвы. Весенние запасы влаги свыше 150, средний многолетний минимум 80-100 мм.

Проведенные нами наблюдения и анализ материалов в Харьковском и Раквереском районах подтвердили эти выводы и в дальнейших расчетах приведенная классификация по микроклиматической изменчивости водного режима почв использовалась для изучения изменений урожая ячменя.

Фоновые показатели влажности почвы на ровном месте определялись по данным районирования территории Эстонской ССР динамики влажности почвы К.Киви (Kivi, 1979). Согласно этой работе динамика влажности почв рассматривается в 22 районах. При определении микроклиматической изменчивости влажности почвы за фоновые показатели принимался средний запас влаги в почве в каждом районе.

На холмистой местности на склонах суммы поглощенной радиации  $R_{\text{скл}}$  подстилающей поверхности рассчитываются по формуле

$$R_{\text{скл}} = (S_{\text{скл}} + S) \cdot (1 - A) \quad (20)$$

Значения альбедо на склонах приняты равными  $A$  на ровном месте.

Радиационный баланс на склонах  $R_{\text{скл}}$  рассчитывается по соотношению

$$R_{\text{скл}} = R \cdot K_R \quad (21)$$

Значения  $K_R$  приведены в таблице 2.  
Согласно формулам (14) и (21) оптимальное водопотребление посевов ячменя на склонах ( $E_{0\text{скл}}$ ) определяется по формуле

$$E_{0\text{скл}} = 0,63 R_{\text{скл}} L^{-1} \quad (22)$$

Изменения влагозапасов на склонах рассчитаны с помощью коэффициента увлажнения  $K_V$  (Федосеев, 1959), который характеризует отношение влажности почвы в разных местоположениях к влажности почвы на ровном участке

$$K_V = \frac{W_{\text{скл}}}{W_p} \quad (23)$$

где  $W_{\text{скл}}$  - запасы влаги в корнеобитаемом слое почвы в разных местоположениях на склонах,  
 $W_p$  - запасы влаги в таком же слое на ровном участке.

Таблица 2

Значения коэффициента  $K_R$  для расчета суточных сумм радиационного баланса на склонах (Голубова, 1967)

Крутизна в град.	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	Северный склон					
10	0,84	0,92	0,94	0,92	0,89	0,76
20	0,70	0,85	0,88	0,86	0,78	0,56
	Южный склон					
10	1,14	1,06	1,03	1,04	1,10	1,21
20	1,28	1,11	1,06	1,09	1,17	1,41

Для расчета влагозапасов на склонах нами использованы значения  $K_V$ , предложенные в работе Е.Н. Романовой, (1977). Схема расчета влагозапасов на склонах проверена Е.Н. Романовой по материалам наблюдений в Эстонской ССР (Романова, 1974) Значения коэффициентов  $K_V$  приведены в таблице 3.

Испарение на холмистой местности имеет очень большую пространственную изменчивость. Согласно работе Е.Н. Романовой, (1977), она может быть рассчитана по известным формулам М.И. Будыко (Будыко, 1965):

$$E = E_0 \frac{W}{W_0} \quad \text{при } W < W_0, \quad (24)$$

$$E = E_0 \quad \text{при } W \geq W_0,$$

где  $W$  - запасы продуктивной влаги в активном для растений слое почвы,  
 $W_0$  - критическое значение продуктивной влажности почвы, при котором и выше  $E = E_0$ .

Значение  $W_0$  изменяется от влажности разрыва капиллярной влагоемкости до наименьшей полевой влагоемкости. В расчетах испарения  $W/W_0 \leq 1$ , так как испарение не может превышать значений испаряемости. В качестве активного слоя почвы для растений в холмистом рельефе территории Эстонской ССР может быть использован слой 0-50 см.

Таблица 3

Коэффициенты увлажнения  $K_v$   
 (Романова, 1977)

Форма рельефа	Лето	
Вершина	0,52	
Северный склон:	верхняя часть	0,95
	средняя часть	1,0
	нижняя часть	1,50
	подножие	1,88
Южный склон	верхняя часть	0,53
	средняя часть	0,57
	нижняя часть	1,00
	подножие	1,30
Ровная местность	1,0	

Формулу (24) можно представить в виде

$$\frac{E}{E_0} = \frac{W}{W_0} \quad (26)$$

В работе Е.Н. Романовой, (1977) показано, что выполняется и соотношение

$$\frac{E_{скл}}{E} = \frac{E_{0скл}}{E_0} \cdot \frac{W_{скл}}{W_p} \quad (27)$$

Представим (27) в виде:

$$E_{скл} = E_{0скл} \frac{E}{E_0} K_v \quad (28)$$

Принимая

$$K_{п} = \frac{E}{E_0} K_v,$$

получим

$$K_{\pi} = \frac{E_{\text{скл}}}{E_{0\text{скл}}} \quad (29)$$

Выражение (29) принималось за характеристику условий увлажнения склонов при расчете действительно возможных урожаев ячменя на холмистой местности по формуле (II). Следовательно, действительно возможный урожай ячменя на склонах ( $Y_{\text{скл}}$ ) на основе формул (II) и (29) рассчитывается

$$Y_{\text{скл}} = Y_{\text{пскл}} \cdot K_{\pi} \quad (30)$$

Характеристика условий увлажнения изменяется в разных местоположениях в больших пределах. Значение  $\frac{E}{E_0}$  меньше 1 характеризуют условия недостаточного увлажнения, больше 1 - переувлажнения. Анализ изменчивости средних урожаев ячменя в республике за период 1970-1985 гг. показал, что в пределах значений  $\frac{E}{E_0}$  от 0,80 до 1,10 условия увлажнения близки к оптимальным. Этот вывод хорошо согласуется с результатами исследований В.Лаура (1983) о влиянии условий увлажнения на урожайность ячменя по опытным данным сортоучастков Эстонской ССР за 15-летний период. Коэффициент снижения урожаев под влиянием переувлажнения на ровных участках ( $K_w$ ) определяется по формуле

$$K_{wk} = \frac{1}{K_w} \quad (31)$$

и на склонах

$$K_{w\pi} = \frac{1}{K_{\pi}} \quad (32)$$

Максимальные возможности продуктивности климата могут быть полностью использованы только при наличии в почве достаточного количества питательных веществ. Потребность растений в калии ( $K_0$ ), фосфоре ( $P_0$ ) и азоте ( $N_0$ ) в различных местоположениях для получения урожая, обеспеченного климатическими ресурсами, оценивалась нами с помощью следующих формул:

$$N_0 = C_n Y_i \quad (33)$$

$$P_0 = C_p Y_i \quad (34)$$

$$K_0 = C_k Y_i \quad (35)$$

где  $C_n, C_p, C_k$  - содержание азота, фосфора и калия в единице

урожая ячменя.

(По данным Эстонского НИИЗиМ в среднем для территории нашей республики.)

Анализ описанной модели продуктивности ячменя показывает, что БКП ячменя зависит от большого комплекса природных факторов. Для характеристики БКП в разных местоположениях принят следующий комплекс показателей:

1. Потенциальный урожай
2. Оптимальное водопотребление
3. Действительно возможный урожай с учетом условий увлажнения
4. Потребность растений в азоте, фосфоре и калии для получения обеспеченного климатическими ресурсами урожая.

Фоновые значения перечисленных показателей БКП для разных частей территории Эстонской ССР определены на основе их среднemasштабных карт (1:1 500 00). Микроклиматическая изменчивость БКП ячменя оценивалась на основе вышеизложенной схемы. Расчеты  $У_n$  проведены при значениях  $\gamma_y$  в июне - 4,5 %, в июле - 6,0 %,  $q_y = 18,84$  кДж/га и при стандартной влажности зерна 14 %. Для лучшего практического восприятия показателей БКП принято, что хозяйственно ценная часть урожая составляет 55 % от общей сухой биомассы ячменя.

Результаты расчетов показателей БКП в разных частях территории республики показали, что наибольшая микроклиматическая изменчивость БКП отмечается в районах возвышенностей. В пределах возвышенностей как в Южной, так и Северной Эстонии фоновые характеристики сравнительно мало различаются между собой, и изменчивость БКП на склонах при одинаковой крутизне практически совпадает.

Микроклиматическая изменчивость  $У_n$  в зависимости от различий в притоке ФАР на разных участках рельефа невелика. Так, на южных склонах крутизной  $5^\circ$  при фоновых значениях  $У_n = 9,3$  т/га  $У_{n\text{скл}}$  повышена и на северных склонах - снижена в среднем на 0,2-0,3 т/га. С увеличением крутизны склонов различия возрастают. При крутизне  $10^\circ$  на южных склонах возможная урожайность возрастает до 9,5 т/га, на северных снижается до 8,8 т/га.

В районах возвышенностей фоновые значения в среднем равны 170 мм. На южных склонах крутизной  $10^\circ$  водопотребление посевов ячменя увеличивается до 180 мм, на северных - уменьшается до 155 мм. Для получения урожая в 9,5 т/га требуется азота 171 кг/га, фосфора 60 кг/га, калия 71 кг/га, всего

302 кг/га основных питательных веществ. На северном склоне крутизной 10° потребность в элементах минерального питания меньше соответственно на 13 кг/га, 5 кг/га, 5 кг/га, всего 23 кг/га.

Совместный учет микроклиматической изменчивости радиационного и естественного водного режимов склонов при формировании урожаев существенно увеличивает пространственную изменчивость БКП. На разных участках рельефа одновременно встречается снижение урожаев под влиянием недостатка запасов влаги почвы и переувлажнения. В таблице 4 приведены результаты расчета  $U_w$  и потребность в элементах питания в разных местоположениях. Из таблицы 4 видно, что на верхних и средних частях южного склона урожаи снижены больше чем на 4 т/га из-за недостатка запасов влаги почвы, а на нижней части и подножии северного склона под влиянием переувлажнения соответственно на 2 т/га и 4 т/га. На верхних и средних частях северного склона и на нижней части южного склона условия увлажнения близки к оптимальным и уровни урожаев определены особенностями радиационного режима.

Таблица 4

Урожай, обеспеченный климатическими ресурсами, и потребность посевов ячменя в минеральных элементах питания

Форма рельефа	Урожайность	N	P	K	NPК
1. Вершина	4,8	86,4	30,2	36,0	152,6
2. Северный склон					
верхняя часть	8,4	151,2	52,9	63,0	267,1
средняя часть	8,8	158,4	55,4	66,0	279,8
нижняя часть	5,8	104,4	36,5	43,5	184,4
подножие	4,7	84,6	29,6	35,2	149,4
3. Южный склон					
верхняя часть	5,0	90,0	31,5	37,5	159,0
средняя часть	5,4	97,2	34,0	40,5	171,7
нижняя часть	9,5	171,0	59,8	71,2	302,0
подножие	7,2	129,6	45,4	54,0	229,0
4. Ровная местность	9,3	167,4	58,6	69,8	295,8

Потребность в минеральных элементах посевов в разных местоположениях на рельефе вызывает изменения урожайности.

На ровных участках особенности микроклимата в основном определены различиями в свойствах почвы и мелиоративными мероприятиями. В зависимости от общеклиматического фона местности значимость почвенного климата на формирование урожая может быть существенно различной. В Эстонской ССР наибольшие различия в климате обусловлены влиянием моря. Расчеты климатически обеспеченных урожаев ячменя по территории республики показали, что резкое снижение урожаев наблюдается в зоне влияния моря. Установленное нами расположение этой зоны на основе анализа изменчивости урожайности ячменя (Федосеев и др., 1983) четко совпадает с расположением области морского климата территории республики, установленной А. Райком (Raik, 1967). На основе этого микроклиматическая изменчивость БКП на ровном месте рассматривается отдельно во внутренних районах республики и в прибрежной зоне.

На ровном месте значения  $U_n$  равны для всех почв. Различия в показателях БКП обусловлены изменчивостью в условиях увлажнения. На сильнозасухоопасных и засухоопасных почвах при фоновых значениях  $U_n = 9,3$  из-за дефицита влаги отмечается снижение  $U_{wскл}$  в среднем на 20 % по сравнению со значениями  $U_{wскл}$  при оптимальном водном режиме. Для формирования такого урожая из почвы выносятся 255 кг/га РК, в том числе азота 133 кг/га. Расход воды за период вегетации равен 140-150 мм, который меньше  $E_0$  на 20-30 мм. При использовании искусственного орошения показатели БКП приближаются к фоновым.

Для слабозасухоопасных, обеспеченных влагой и временно избыточно увлажненных почв, показатели БКП за период вегетации ячменя приближаются к фоновым.

Наиболее сложные агрометеорологические условия роста и развития посевов формируются на продолжительно избыточно увлажненных почвах. В зависимости от гидрогеологических условий переувлажненными могут быть почвы разного механического состава. На неосушенных сельскохозяйственных землях недобор урожая из-за переувлажнения варьирует в больших пределах. На большинстве осушенных почв рассматриваемые показатели БКП близки к фоновым. Существенные изменения отмечаются только на осушенных легких минеральных почвах. В результате осушения влажность почвы весной снижается очень быстро и появляется почвенная засуха. Значения показателей БКП примерно рав-

ны значениям их на сильнозасухоопасных и засухоопасных почвах при естественном режиме увлажнения. Для оптимизации условий увлажнения на этих почвах требуется двустороннее регулирование водного режима.

В прибрежной зоне и на островах микроклиматическая изменчивость элементов климата существенно увеличивает вариативность показателей БКП по территории. На осушенных и с естественным режимом увлажнения легких минеральных почвах проявляется острая почвенная засуха. При фоновом значении  $U_w$ , равном 5 т/га, на этих почвах урожай снижается до 4 т/га. Водопотребление посевов занижено по сравнению с оптимальным более чем на 120 мм. На слабозасухоопасных, обеспеченных влагой и временно увлажненных почвах показатели БКП, как и во внутренних районах, мало отличаются от фоновых.

На осушенных минеральных почвах с двусторонним регулированием водного режима и на осушенных торфяниках запасы почвенной влаги не лимитируют формирование урожаев, и здесь могут быть собраны наиболее богатые урожаи.

### Литература

- Аверкиев М.С. Уточненный метод расчета суммарной радиации // Вестн. Моск. ун-та. - 1961. - Сер.У, № 1. - С. 40-47.
- Барашкова Е.П., Гаевский В.Л. Дьяченко Л.Н. Лугина К.М., Пивоварова Э.И. Радиационный режим территории СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1961. - 528 с.
- Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. - Л.: Гидрометеиздат, 1956. - 256 с.
- Голубова Т.А. Количественные характеристики радиационного режима // Микроклимат СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - С. 11-37.
- Кавалюскас Б.М. Суммарная радиация на территории Южной Прибалтики // Труды АН ЛитССР. - 1964. - Сер. Б, № 3(38).
- Каринг П.Х. Опыт построения карт распределения альбедо территории Эстонской ССР // Сб. работ Таллинской ГМО. - 1972. - Вып. 8.
- Кондратьев К.Я. Актинометрия - Л.: Гидрометеиздат, 1965. - 691 с.

Лаур В. Влияние средней суточной температуры и сумм осадков, выпавших на урожай ячменя // Труды ВНИИСХМ. - 1983. - Вып. II. - С. 77-80.

Ляэне Э.О. Характеристики пространственной изменчивости почвенных влагозапасов. - Изучение микроклимата сельскохозяйственных земель в Эстонской ССР. - Таллин, 1980. - С. 34 - 45.

Ляэне Э., Клейне Я. Режим влажности почв в зависимости от микроклимата в Эстонской ССР // Труды ИЭМ. - 1977. - Вып. 10(78). - С. 58 - 67.

Молдау Х., Росс Ю., Тооминг Х., Ундла И. Географическое распределение фотосинтетически активной радиации (ФАР) на территории Европейской части СССР // Фотосинтез и вопросы продуктивности растений - М., 1963. - С. 149-158.

Романова Е.Н. Методика исследования влажности почв в условиях холмистого рельефа ЭССР // Труды ГГО. - 1974. - Вып. 339. - С. 17-24.

Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. - Л.: Гидрометеоздат, 1977. - 280 с.

Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. - Л.: Гидрометеоздат, 1977. - 200 с.

Федосеев А.П. Влажность почв в связи с рельефом местности // Труды КазНИТ МИ. - 1959. - Вып. 13. - С. 66-88.

Федосеев А.П., Тооминг Х.Г., Каринг П.Х., Варчева С.Е. Гончарова Л.И. Оценка агроклиматического потенциала Эстонской ССР с помощью картирования на ЭВМ // Труды ВНИИСХМ. - 1983. - Вып. II. - С. 22-31.

Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1985. - 248 с.

Karing P. Summaarse kiirguse jaotumisest Eesti NSV territooriumil // Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat 1971/1972. - 1974. - Lk. 24-34.

Karing P. Raali kasutamise võimalustest Eesti NSV territooriumi kiirgusbilansi kaartide koostamisel ja analüüsimisel // Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat 1977. - 1977, lk. 58-68.

Kivi K. Eesti NSV muldade veevaru dünaamikast vegetatsiooniperioodil ja selle territoriaalsetest erinevustest // Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat 1978. - 1979. - Lk. 49-81.

Raik A. Eesti kliimatilisest rajoneerimisest // Eesti Loodus. - 1967. - Nr. 2. - Lk. 65-70.

THE ESTIMATE OF THE BIOCLIMATIC POTENTIAL OF BARLEY  
SOWING IN DIFFERENT MICROCLIMATIC CONDITIONS

P. Karing

S u m m a r y

The reshaping of natural landscapes as a result of human economic activity and the rational use of resources presume the exploration of the potential possibilities of every natural complex. On the territory of the Estonian SSR the productiveness of the cultivation depends to a large extent on the microclimatic conditions of the place of growth. To estimate the bioclimatic potential of barley sowing the following indices are used: the potential yield ( $Y_n$ ), with climatic resources guaranteed yield ( $Y_w$ ), optimal water supply ( $E_o$ ) and the necessity of nitrogen ( $N_o$ ), phosphorus ( $P_o$ ) and potassium ( $K_o$ ). As to calculate the quantity of the indices, a applied mathematic model for the formation of barley yield, considering the microclimatic differences, has been worked out. The results of the calculation show that in Estonia the basic factors forming the bioclimatic potential of barley sowing are relief, soil and amelioration.

## СВЯЗЬ СКОРОСТИ РАЗВИТИЯ ЯЧМЕНЯ "МАЯ" С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

И. Пальм

Введение. Вопросы развития культурных растений, т.е. прохождения ими последовательного ряда фаз развития очень актуальны во многих странах, о чем свидетельствует обширная литература по всем пищевым культурам. Изучение влияния погодных условий на темп развития растений (в том числе ячменя) является одним из трех аспектов исследования связей типа "растение - погода". Остальные два - влияние погоды на формирование урожая и на рост (увеличение биомассы) растений. Хотя на все эти процессы оказывает влияние один и тот же комплекс внешних факторов, роль отдельных компонентов комплекса в каждом аспекте различна. Различие в механизме влияния погоды на формирование урожая и на развитие растений выражается, например, в том, что одни и те же условия погоды могут влиять на эти процессы по-разному: благоприятные для быстрого развития растений условия могут дать неудовлетворительный урожай, и наоборот.

В отличие от роста и урожая, которые характеризуются количественными показателями, развитие растений все еще имеет качественное, оценочное выражение (визуальное определение наступления фенологических фаз). Таким образом, для исследования возможных связей развития с погодой, с одной стороны, имеются оценки, а с другой - точные цифровые величины, характеризующие метеорологические факторы. Хотя при этом установлено, что темп развития растений определяется главным образом температурой воздуха, связь между этими явлениями окончательно не выяснена. Об этом свидетельствуют различные результаты, полученные разными исследователями, и отсутствие имеющих прогностическое значение уровней связи. Очевидно, механизм влияния погодных условий на развитие двух рядов данных (фенологических и метеорологических) пока приводит только к приблизительным выводам.

Литература. Имеющиеся публикации по развитию ячменя представляют собой статьи в крайне разбросанном виде. Некоторый обзор таких статей дан в рукописной работе "Исследование скорости развития ячменя в зависимости от погодных условий", Тарту, 1966, которая, к сожалению, не охватывает труднодо-

стущую иностранную литературу, о сложности изучения данного вопроса говорит и то, что исследователи пока не умеют характеризовать комплексное влияние всей погоды на развитие и вместе с тем не научились вырывать отдельные метеофакторы из комплекса с целью изучения их роли во влиянии на развитие. Тем не менее почти во всех проведенных исследованиях делается попытка рассмотреть влияние одного отдельного фактора (или в крайнем случае двух), так как на изучение большего уже недостает сил. Интересно, что очень мало или вообще не затронут вопрос комплексного влияния погоды на развитие растений, в том числе ячменя, в книгах по физиологии или экологии растений.

Почти все авторы уверены, что решающим фактором в развитии ячменя является температура воздуха. Меньше внимания уделено температуре и влажности почвы, осадкам и другим элементам. Самым интересным в литературе является спор о применимости в качестве показателя скорости развития растений сумм различных температур (обычных, эффективных или активных). Хотя в литературе сторонников сумм температур больше, чем противников, забегая вперед, нужно сказать, что данное исследование не подтверждает мнения о пригодности сумм. Во многих исследованиях показано, что лучше, чем суммы температур с длительностью межфазных периодов, коррелируются средние температуры этих же периодов. Однако большое количество формул связи разного вида, полученных различными авторами, говорит о сложности и неопределенности связей.

Помимо чисто температурных показателей в литературе предлагаются различные комплексные индексы, в которых наряду с температурой учитывается еще какой-нибудь элемент. Особенно большой набор таких индексов приведен в работе С. Тухканена (Tuhkanen, 1980).

Гораздо меньше, чем по температуре, имеется работ по изучению влияния влажности почвы на скорость прохождения фаз. Это объясняется недостаточностью данных о влажности как в пространстве, так и во времени. Чаще всего работы по влажности почвы посвящены определению оптимальных и неблагоприятных для ячменя величин влажности, причем и этот вопрос не решен однозначно.

---

\* Рукопись хранится на кафедре физической географии ТГУ.

Особое значение в исследовании развития ячменя имеет вопрос о возможности прогнозирования наступления той или другой фазы, а также конца всей вегетации (срока созревания и начала уборки). Собственно говоря, все попытки нахождения различных связей между развитием и метеорологическими факторами служат именно этой цели. Но общим недостатком почти всех найденных более или менее удачных выражений связи является то, что они требуют прогноза метеорологического элемента, иногда на целый вегетационный период вперед (прогноз через прогноз). Из этого положения пытаются выйти путем использования для характеристики развития данных в начале вегетации или какого-либо межфазного периода. Несмотря на отдельные удовлетворительные корреляционные связи, прогностического значения эти выводы не имеют. Поэтому вопрос фенологического прогноза пока остается нерешенным.

Использованный материал. Фенологический материал по ячменю из государственной агрометеорологической сети непригоден для статистических исследований. Поэтому в настоящей работе использован фенологический ряд ячменя "Мая" Ингеваской селекционной станции (ИСС) протяженностью в 45 лет (1940-1984). Внушающий в общем доверие феноматериал страдает от отсутствия одновременных метеорологических наблюдений на ИСС, ввиду чего метеорологические данные пришлось взять с Ингеваской агрометеорологической станции (АМС). Последняя находится от ИСС на расстоянии примерно 2 км. Были выписаны такие ранее использованные в литературе данные, как температура воздуха и почвы, количество осадков, дефицит влажности воздуха, продолжительность солнечного сияния (все за каждые сутки) и запасы продуктивной влаги в почве за дни определения (раз в декаду). При этом температура воздуха и осадки имеются за весь 45-летний период, остальные данные - начиная с 1965 года. В ходе работы часть этих данных была использована лишь косвенно или частично.

Необходимо отметить, что вегетационный период в литературе, особенно в справочной, определяется по-разному. В данном случае рассматриваются конкретные вегетационные периоды ячменя "Мая", которые каждый год начинаются с даты посева и кончаются наступлением восковой спелости. Также надо учесть, что несмотря на то, что у ячменя по соответственному наставлению выделяют II фаз развития, на ИСС зафиксировано только четыре фазы (посев, всходы, колошение, восковая спелость).

На основе вышеперечисленных данных исследованы: 1) статистика развития ячменя (распределение дат наступления различных фаз, статистика межфазных периодов, возможные связи между элементами феноматериала, отклонения длин периодов и дат их наступления от средних); 2) связи фенологических показателей с метеорологическими данными (в основном с температурами, количеством осадков и влажностью почвы); 3) возможности фенологического прогноза.

Статистика развития ячменя. Средняя продолжительность вегетационного периода ячменя "Мая" в Йыгева составляет 94 дня, причем в течение 45 лет эта величина колебалась от 78 (1947, 1972) до 114 дней (1962). Таким образом, различие в продолжительностях вегетационного периода между отдельными годами составляет более месяца. В ходе продолжительности периода наблюдается (во всяком случае начиная с 1956 года) определенная ритмика в чередовании положительных и отрицательных в отношении среднего за 1940-1984 гг. пиков с шагом в 2-3 года (рис. 1). Средняя разница между соседними годами в продолжительности вегетационного периода составляет 10 дней при крайних значениях от 1 до 29 дней (рис. 1). Используемые данные о фазах развития ячменя показывают сильное временное варьирование всех показателей (табл. 1).

Таблица I

Даты посева и наступления различных фаз развития ячменя "Мая" за 1940-1984 гг. в Йыгева

Фаза	Дата наступления		
	самая ранняя	самая поздняя	Разница (дни)
Посев	27.04.(1953)	31.05.(1944)	35
Всходы <sup>+</sup>	7.05.(1984)	6.06.(1955)	31
Колошение	22.06.(1984)	24.07.(1944)	33
Восковая спелость	28.07.(1973)	30.08.(1962)	34

<sup>+</sup> отсутствуют данные за 1940-1945 гг.

Далее кратко охарактеризуем наступление различных фаз и статистику межфазных периодов.

Посев. Оптимальные условия для посева ячменя в районе Йыгева наступают в очень разное время с конца апреля до конца мая (табл. I). Но 73% случаев падает на период с 1 по 20 мая. Средняя дата посева - 12 мая. В большинстве случаев при

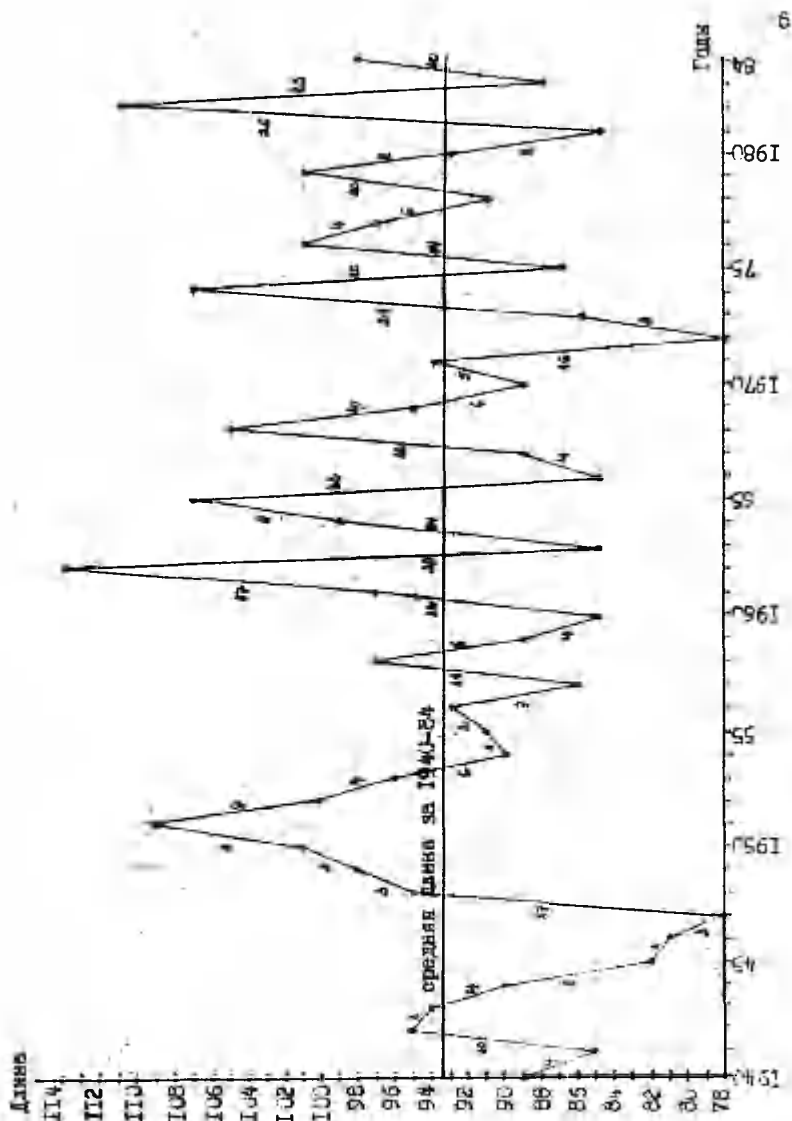


Рис. 1. Длительность вегетационного периода ячменя "Мая" за период 1940-1984 гг. на Игтеваской СС.

Примечание: цифры на поле рисунка показывают разницу в днях между соседними годами.

посеве позднее средней даты вегетационный период не длится дольше среднего, а посев раньше средней даты обуславливает период, длящийся дольше среднего. Средняя разница в дата посева между соседними годами составляет 7 дней с колебаниями от нуля до 17 дней.

Всходы. Всходы появляются в среднем через 10 дней после посева. Средняя дата появления всходов - 20 мая. В 90% случаев появление всходов наблюдается между 11 и 31 мая. Из года в год даты появления всходов различаются в среднем на 8 дней с колебаниями от нуля до 17 дней.

Колошение. Колошение наблюдается уже в последней декаде июня, но более чем в 70% случаев падает на июль. Средняя дата колошения 6 июля. Из года в год даты колошения различаются в среднем на 7 дней, но могут различаться от нуля до 18 дней.

Восковая спелость. Конец вегетации, который отмечается как массовое наступление восковой спелости, наблюдается в промежутке между 28 июля и 31 августа, при средней дате 13 августа. При этом 70% случаев падает на первую и вторую декады августа. Из года в год наступление восковой спелости колеблется в широких пределах - от нуля до 23 дней, в среднем в пределе 9 дней.

Таблица 2

Характеристики межфазных периодов ячменя "Мая"  
за 1940-1984 гг.

Характеристики	п-в	в-ко	ко-вс	п-вс
Средняя продолжительность	10	45	43	94
Крайние величины продолжительности (дни)	6-16	36-58	26-51	78-114
% крайних величин от средней продолжительности	60-160	80-129	60-119	83-121
Среднеквадратическое отклонение продолжительности	2,88	4,46	5,95	8,57
Наиболее часто встречающаяся продолжительность и % от всех случаев	6-11 70	40-51 85	34-45 69	83-101 78

п - посев    в - всходы    ко - колошение    вс - восковая спелость

Из таблицы видно, что в продолжительности межфазных периодов, а также в сроках наступления различных фаз наблюдаются

зя резкие колебания.

Из общей продолжительности вегетационного периода (п-вс) период посев-всходы (п-в) в среднем составляет 10,6 (от 6,2 до 16,3), всходы-колошение (в-ко) 47,8 (36,4-56,3) и колошение-восковая спелость (ко-вс) 41,6% (30,2-49,5). Существует мнение, что для злаков характерна относительная устойчивость продолжительности вегетативного периода (от посева до колошения) в отношении общей продолжительности вегетационного периода. По данным настоящей работы вегетативный период у ячменя "Мая" составляет в среднем 60% от всего вегетационного периода с отклонением  $\pm 10\%$  в отдельные годы. Коэффициент корреляции между длительностью этих периодов составляет 0,729.

Исследование показывает, что не существует связи как между продолжительностью отдельных периодов, так и между датой наступления фаз и продолжительностью междофазовых периодов. Это значит, что длина одного периода не зависит от длины других, а также от времени начала периодов.

Связь скорости развития ячменя с метеорологическими факторами. Температура воздуха и почвы. Исходя из утверждения, что решающим фактором в развитии ячменя является температура воздуха, для нахождения возможных связей учитывалось 14 различных показателей в виде сумм и средних для каждого года по всему вегетационному периоду и по его подпериодам. В основном изучались суммы эффективных температур (ЭТ)  $\geq 5^{\circ}$  как наиболее используемые в агрометеорологической практике. При этом  $5^{\circ}$ , как известно, считается в развитии ячменя (а также многих других культур) пороговой температурой.

Как уже сказано ранее, в ходе этой работы не удалось установить сколько-нибудь существенных зависимостей продолжительности междофазных периодов от сумм температур. Суммы всех периодов колеблются в значительных пределах и нет основания говорить о постоянстве сумм. В качестве иллюстрации к этому можно сказать, что развитие (созревание) ячменя завершается при средней сумме ЭТ  $901^{\circ}$  (при крайних значениях за исследуемый период от  $807$  до  $1011^{\circ}$ ). Таким образом, один и тот же процесс успешно происходит при довольно разных тепловых ресурсах. Большое варьирование сумм температур, которое по исследованию Ю.И. Чиркова и Н.К. Кононовой (1984) становилось особо резким начиная с 1974-1975 гг., делает суммы невыгодными в прогностическом смысле.

Анализ показывает, что заслуживающая внимания корреляция (0,566-0,770) существует только между длинами межфазных периодов и разностями сумм максимальных и среднесуточных ЭТ ( $\sum \text{ЭТ}_{\text{макс}} - \sum \text{ЭТ}_{\text{ср}}$ ). Сущность этой связи пока не ясна.

Дальнейшее исследование показало, что существует обратная корреляция между продолжительностью межфазных периодов и средней эффективной температурой этих же периодов. В общем виде это значит, что межфазный период тем короче, чем выше средняя температура периода, и наоборот. Но в течение вегетационного периода меняется вид кривой связи - для п-в и в-ко она имеет вид гиперболы, а для ко-вс и п-вс приближается к линейной (рис. 2-5). Это подтверждают и составленные уравнения регрессии. Характеристики связи длин периодов со среднепериодными эффективными температурами представлены в таблице 3.

Фактические и вычисленные по составленным уравнениям продолжительности довольно хорошо совпадают. Последние дают даже в случае всего вегетационного периода среднюю абсолютную ошибку около 3 дней. Преобладают положительные отклонения от фактических длин межфазовых периодов. В отдельных случаях разница достигает 8 дней, она не связана с большими отклонениями в средних температурах.

Таблица 3

Характеристики связи продолжительности межфазовых периодов (у) со средними ЭТ этих же периодов (1940-1984 гг.)

Характеристики	п-в	в-ко	Фазы	ко-вс	п-вс
Коэффициент корреляции	-0,83	-0,76		-0,84	-0,87
Уравнение регрессии	$y = \frac{24,5}{x - 0,55}$	$y = \frac{138}{x - 0,51}$		$y = -4x + 85$	$y = -7,5x + 168$
Средняя абсолютная разница между фактической и вычисленной длинами (дни)	1,2	2,0		2,2	3,4

На развитие должно оказывать влияние и суточное колебание температуры воздуха, для оценки которого необходимо иметь ежечасные температуры. На АМС Илгева суточный ход температуры воздуха не регистрируется, но имеется максималь-

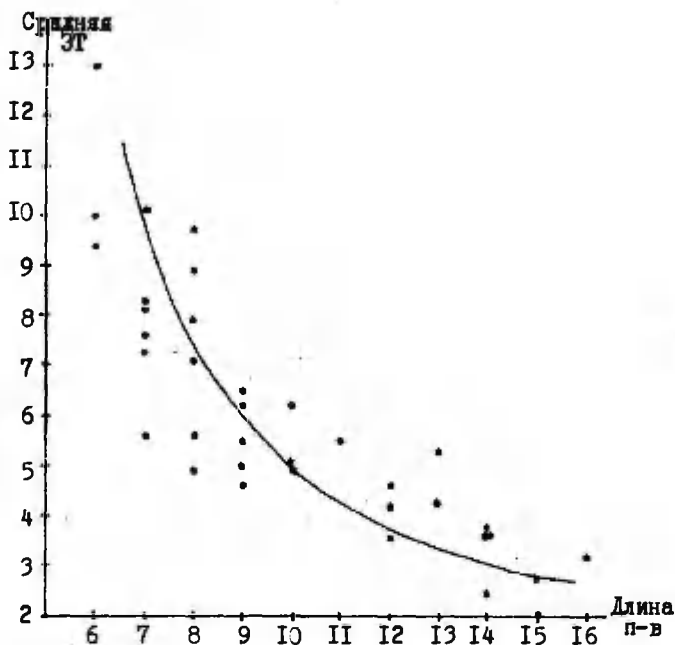


Рис. 2. Связь между длительностью и средней эффективной температурой периода п-в, 1946-84.

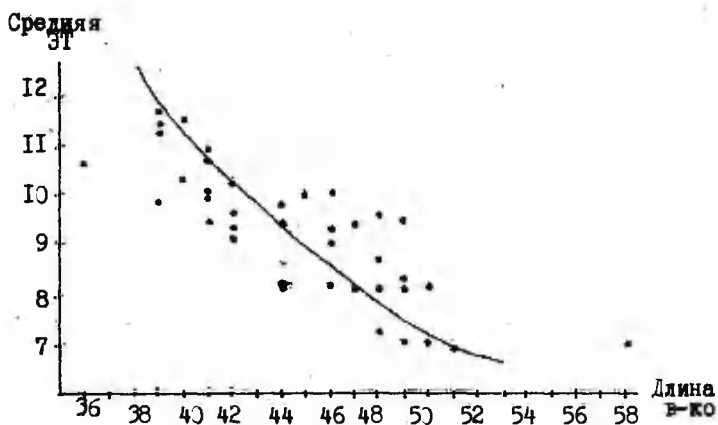


Рис. 3. Связь между длительностью и средней эффективной температурой периода в-ко, 1946-84.

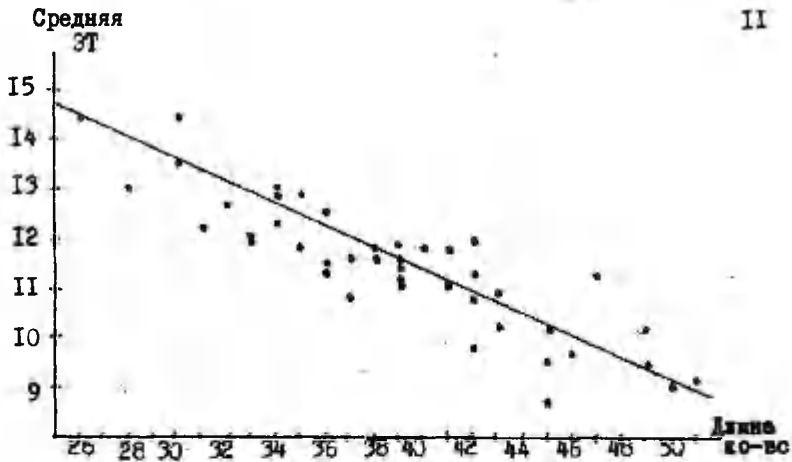


Рис. 4. Связь между длительностью и средней эффективной температурой периода ко-вс, 1940-84.

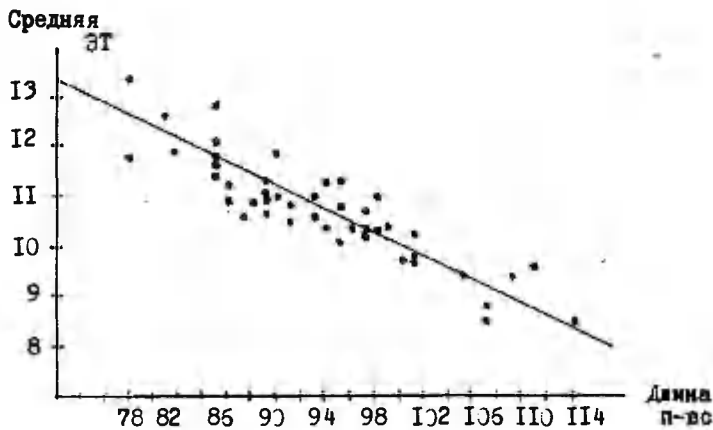


Рис. 5. Связь между длительностью и средней эффективной температурой периода п-вс, 1940-84.

ные и минимальные температуры суток. Сопоставление сумм суточных максимальных ( $\sum \text{ЭТ}_{\text{макс}}$ ) и минимальных температур ( $\sum \text{ЭТ}_{\text{мин}}$ ) показывает, что за вегетационный период они различаются в среднем более  $1000^{\circ}$ , а  $\sum \text{ЭТ}_{\text{макс}}$  и  $\sum \text{ЭТ}_{\text{ср}}$ , а также  $\sum \text{ЭТ}_{\text{ср}}$  и  $\sum \text{ЭТ}_{\text{мин}}$  — около  $500^{\circ}$ . Из литературы (Коровин, 1972, 1984) известно, что для оказания воздействия на растение данная теплота (температура) должна влиять в течение не менее 3 часов. Хотя экстремальные за сутки температуры обычно столько времени не удерживаются, в течение более трех часов растения днем подвергаются влиянию более высокой, а ночью более низкой температуры, чем среднесуточная. Кроме того, за счет прямого солнечного сияния растения на самом деле часто получают больше тепла, чем это показывают любые температуры, всегда измеряемые в тени. Пока влияние суточного хода температуры изучено очень слабо даже в мировом масштабе (Tuukkanen, 1980, с. 19).

Довольно логично думать, что в периоде п-в на растения более сильное влияние оказывает температура почвы. Но как показывают расчеты, суммы за п-в  $\text{ЭТ } 5^{\circ}$  на глубине 5 см отличаются от соответствующих сумм температуры воздуха в среднем лишь на  $4^{\circ}$  в год, причем показатель разницы этих сумм меняется.

Осадки. Влажность почвы. Суммарные количества осадков за вегетационные периоды в 1940–1984 гг. колеблются в очень широких пределах. Наименьшая сумма 61,3 мм (1955) составляет от наибольшей 431,2 мм (1962) всего 14%. Средняя сумма при этом 195,5 мм. Очень большое также варьирование сумм за отдельные межфазовые периоды: для п-в от нуля до 57,5 при средней сумме 12,6 мм, для в-ко от 33,3 до 178,4 мм (84,9) и для ко-вс от 18,6 до 272,4 мм (101,4). Непосредственные связи сумм осадков с продолжительностями межфазовых периодов отсутствуют. Также нельзя делать какие-нибудь существенные выводы исходя из сумм, так как они формируются из количества осадков за отдельные дни, которые небольшие и редко превышают 20 мм. От каждого отдельного дождя, как известно, определенное количество задерживается растениями, причем это количество зависит от фазы развития и густоты посева. По данным литературы (Конторщикова, Еремина, 1963; Тюленева, 1981) в среднем за вегетационный период оно составляет 16% с колебаниями в течение периода от 10 до 35% (Чирков, 1979). В результате суммы осадков с точки зрения развития ячменя неинформативны, они дают лишь общую характеристику погоды веге-

тационного периода (сельскохозяйственного года).

О воздействии осадков на растения свидетельствует влажность почвы. Запасы продуктивной влаги оказывают сильное влияние как на рост и развитие, так и на урожай ячменя. Но в климате Эстонии почвенная влага с точки зрения развития ячменя особой проблемы из себя не представляет. Использованный за 1965–1984 гг. материал показывает, что согласно критериям оптимальности и неудовлетворительности запасов продуктивной влаги для ячменя, рекомендуемым гидрометеосистемой (табл. 4), неудовлетворительные условия в Йыгева носят кратковременный характер и быстро компенсируются.

Таблица 4

Оптимальные и неудовлетворительные запасы продуктивной влаги (мм) для ярового ячменя

Период	п-в	в-ко	ко-вс
Глубина (см)	0–20	0–50	0–50
Оптимальные запасы	30–50	60–100	50–100
Неудовлетворительные запасы	<20, >50–60	<30	<20

Отклонение влажности от оптимального показателя оказывает наиболее сильное влияние в период п-в. Все неудовлетворительные случаи этого периода происходят за счет переувлажнения. Недостатка влаги не наблюдалось. В остальные периоды влажность почвы тоже не должна лимитировать развитие ячменя. По сравнению с температурой она не имеет решающего влияния.

Чтобы выявить наиболее отличительные годы, следует рассмотреть те межфазные периоды, которые по длительности отличались от периодов средней длительности больше, чем величина среднеквадратичного отклонения ( $\sigma$ ) для данного периода. Чрезвычайными считались годы, которые отличались в ту или другую сторону в течение двух периодов из трех возможных. По такому критерию выделены 4 года: 1947, 1951, 1962 и 1972. Во всех этих случаях продолжительность всего вегетационного периода также различалась  $\sigma_{п-вс}$ . Из них два года (1947 и 1972) отличаются малой и два (1951 и 1962) – большой длиной. Для названных лет составлены феноклиматические спектры с данными каждого вегетационного периода. По спектрам тоже можно сделать вывод, что длина периода прежде всего зависит от уровня среднесуточных температур воздуха.

Возможности прогнозирования развития ячменя. В литературе, особенно научной, фенологический прогноз чаще всего пытаются дать на основе установленных для определенных периодов сумм ЭТ, которые считаются константами для данной культуры и межфазного периода. При этом накопление (ожидаемое наступление) этой суммы прогнозируется по ожидаемой температуре. Как уже показано, суммы ЭТ далеко не константны, а также точность прогнозирования среднесуточных температур на длительное время невелика. Поэтому использование сумм ЭТ для прогноза наступления фаз не может дать лучших результатов, чем, например, прогноз через средние продолжительности межфазных периодов для данного сорта. Удачный прогноз температуры позволял бы пользоваться связями, установленными между продолжительностями межфазных периодов и среднепериодными температурами. Но в любом случае прогноз с помощью прогноза не самый лучший выход.

Довольно много в литературе говорится о феноиндикации и приводятся примеры тому, как наступление какой-то фазы у постоянно наблюдаемого природного растения определенным образом предшествует некоторой фазе интересующего нас культурного растения. При наличии длительного и надежного феноматериала такие связи можно было бы установить. По Эстонии такой материал пока отсутствует.

В рамках настоящего исследования на основе данных Ингева был проведен метод фенологического прогноза А.С. Подольского, описанный в одноименной книге (Подольский, 1974). В основе метода лежит зависимость продолжительности периодов развития ячменя от средней температуры воздуха этих же периодов, доказанная и настоящим исследованием. Эта связь характеризует потребности ячменя в теплоте. С другой стороны, используется многолетний средний ход температуры (тепловые ресурсы). В результате сопоставления потребностей и ресурсов определяется нужное для прохождения межфазного периода время. Сопоставление производится графически, для чего по конкретным данным нужно строить температурно-фенологическую номограмму. По составленной номограмме для каждого года определены длины периодов п-в, в-ко и ко-вс. Сравнение показывает, что средние из определенных по номограмме продолжительностей за исследуемый период хорошо соответствуют фактическим: для п-в обе 10 дней, для в-ко фактическая 45, номограммная 46, для ко-вс соответственно 39 и 38 дней. Средние различия также небольшие - абсолютно 2-3 дня. Одно-

временно наблюдаются резкие различия, обусловленные большими отклонениями фактических температур от многолетних (лежащих в основе составления номограмм). При температурах, превышающих многолетние, действительные периоды короче номограммных, и наоборот.

Выводы. 1) Параллельных фенологических и метеорологических рядов достаточной длины и объема по всем необходимым элементам по ячменю в Эстонии нет.

2. Настоящее исследование не подтверждает распространенное мнение о постоянстве сумм ЭТ межфазных периодов ячменя "Мая" и о возможности фенологического прогноза на их основе.

3. Обнаружена хорошая обратная связь между продолжительностями межфазных периодов ячменя "Мая" и средними температурами этих же периодов.

4. Продолжительности межфазных периодов с начальными метеорологическими данными этих периодов не коррелируются.

5. Осадки и запасы почвенной влаги в климате Эстонии оказывают более слабое влияние на скорость развития ячменя, чем температура воздуха. Их роль возрастает в случае засухи.

6. Чрезвычайно короткие и длинные вегетационные периоды формируются на основании чрезвычайности более чем одного периода, причем решающим является ход температуры.

7. Метод фенологического прогноза Подольского дает удовлетворительные результаты для периодов п-в и в-ко, но сомнительные для ко-вс.

8. Сорт "Мая", имеющий в Эстонии наиболее длинную историю (с 1936 года), в настоящее время уже не входит в число районированных сортов, поэтому следовало бы исследовать состоятельность полученных результатов у других сортов. Нужно также учесть, что результаты, полученные по данным одного пункта, без дополнительных исследований нельзя считать действительными на всей территории Эстонии.

#### Литература

Конторщикова А.С., Еремина К.А. Задержание осадков растениями яровой пшеницы за период вегетации // Труды ЦИП. - 1963. - Вып. 131: Вопросы агрометеорологии. - С. 42-52.

Коровин А.И. Проблема экспериментального регулирования гидрометеорологических факторов для решения задач агрометеорологии // *Метеорология и гидрология*. - 1972. - №8. - С. 82-90.

Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. - Л., 1984. - 272 с.

Подольский А.С. Фенологический прогноз. - М.: Колос, 1974. - 288 с.

Толенева В.А. Перехват осадков растительным покровом зерновых культур // *Исследование геосистем в целях мониторинга*. - М., 1981. - С. 101-106.

Чирков Ю.И. Агрометеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 320 с.

Чирков Ю.И., Кононова Н.К. Многолетние колебания сумм активных температур по 100-летнему ряду Обсерватории имени Михельсона // *Метеорология и гидрология*. - 1984. - № II. - С. 102-106.

Tuhkanen S. Climatic parameters and indices: Review // *Acta Phytogeographica Suecica*. - 1980. - Vol. 67: Climatic Parameters and Indices in Plant Geography. - P. 11-46.

RELATIONSHIP BETWEEN THE DEVELOPMENT VELOCITY  
OF BARLEY "MAJA" AND METEOROLOGICAL FACTORS

I. Palm

S u m m a r y

The present article gives statistics of the development velocity of barley "Maja" as the barley sort with the longest history in Estonia (since 1936). It also shows its possible correlations with meteorological factors (effective air temperature sums (threshold  $+5^{\circ}$ ), mean air temperatures between some phases of vegetation, precipitation, moisture of soil) on the basis of 45-year meteorological and phenological data. The research has shown that there exists a good correlation between the development velocity and mean temperatures of the periods of interphases, calculated from mean daily temperatures. Effective temperature sums of the same periods are not constant. The good correlation between the development velocity and mean temperatures makes it possible to control the method of phenological prognosis of Podolsky which has given promising results.

## ЛИНЕЙНЫЕ КОМБИНАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛАНДШАФТА

У. Петерсон, Т. Нильсон

Ключевой проблемой дистанционного зондирования в оптическом диапазоне является распознавание сельскохозяйственных культур, в частности зерновых для оценки их посевной площади и состояния. Успешное решение задачи распознавания заключается в изучении спектрально-временных профилей — траекторий изменения спектральных характеристик подстилающей поверхности в течение вегетационного периода. Спектрально-временным профилям придает вид изменение контраста спектральной яркости (СЯ) между видимой и ближней инфракрасной областью спектра в зависимости от накопления фитомассы в первой половине вегетационного периода и постепенного созревания во время второй. В дополнение к рассмотрению траекторий мультиспектральных характеристик растительности в пространстве соответствующей размерности нашли довольно широкое применение линейные комбинации спектральных характеристик. Наиболее плодотворные идеи предлагают Каутх и Томас (Kauth and Thomas, 1976) на основе анализа данных Landsat (Multispectral Scanner) индексы "яркость почвы", "зеленость", "желтизна", являющиеся определенными линейными комбинациями яркости в четырех каналах Landsat.

Определение индекса "яркость почвы" основывалось на факте, что результаты измерения спектральной яркости (СЯ) различных почв в 4-мерном пространстве СЯ каналов Landsat сосредоточились вокруг одной прямой линии. Иными словами, изученные почвы различались между собой в первую очередь по (интегральной) яркости и значительно меньше по цвету. Характеристика "яркость почвы" для любого исследованного объекта, заданного компонентами вектора СЯ, определяется скалярным произведением данного вектора и единичного вектора, направленного вдоль прямой линии почв. Базой для определения характеристики "зеленость" является единичный вектор, перпендикулярный к прямой линии почв и направленный в сторону зеленого кластера в 4-мерном пространстве СЯ. Компоненты этих векторов находят методом ортогонализации Грам-Смита.

Естественно, что конкретные значения коэффициентов различных спектральных каналов измеряемых коэффициентов спект-

ральной яркости (КСЯ) или СЯ при определении подобных индексов зависят не только от спектральных отражательных свойств изучаемых природных объектов, но и от применяемого мультиспектрального прибора.

Напомним, что КСЯ является отношением спектральных яркостей объекта и идеально рассеивающей поверхности, находящейся в одинаковых условиях освещения и наблюдения.

Ниже будут проанализированы некоторые результаты наземных и самолетных измерений КСЯ растительности, проведенных Институтом астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР, с использованием линейных комбинаций КСЯ типа "яркость почвы" и "зеленость".

### Объекты и методика

Наземные измерения КСЯ проведены полевым четырехканальным фотометром конструкции Ахо и Сулева (Тезисы докладов, 1980) на производственных посевах зерновых культур совхоза им. В.И. Ленина Тартуского района ЭССР. Методика измерений описана в работе Нильсона и др. (1983). Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная.

На основе анализа результатов наших измерений КСЯ почв и растительности по методике, приведенной в работе Каутха и Томаса (Kauth and Thomas, 1976), получены следующие формулы для расчета индексов "яркость почвы" ( $SBR_4$ ) и "зеленость" ( $GR_4$ ):

$$SBR_4 = 0.2902 \cdot b_{482} + 0.3846 \cdot b_{553} + 0.5280 \cdot b_{674} + 0.6993 \cdot b_{780} \quad (I)$$

$$GR = -0.2923 \cdot b_{482} - 0.2773 \cdot b_{553} - 0.5775 \cdot b_{674} + 0.7101 \cdot b_{780}$$

где  $b_{482}$ ,  $b_{553}$ ,  $b_{674}$ ,  $b_{780}$  - КСЯ в направлении надина в спектральных каналах нашего полевого фотометра с максимумом пропускания интерференционных светофильтров при 482 нм ( $\lambda_{0.5} = 9$  нм), 553 нм (10 нм), 674 нм (10 нм), 780 нм (20 нм) соответственно. (Индекс 4 у  $SBR$  и  $GR$  показывает количество использованных спектральных каналов.)

Самолетно-вертолетные измерения КСЯ проводились узкоугольным (20°) самолетным телеспектрофотометром ТСОМ-4М с борта самолета Ан-2 и вертолета Ка-26 с высоты 100 м. КСЯ измерялись в направлении надира в спектральных каналах 550, 675 и 795 нм, полуширина пропускания интерференционных светофильтров - 13, 10 и 15 нм соответственно. Аппаратура и методика этих измерений описаны в работах Сулева, Ахо и

Росса (см. Тезисы докладов, ..., 1980), а также в статье Нильсона с соавторами (1982). Измерения проводились с начала июня до середины августа 1984 г. на сельхозугодьях совхоза им. В.И.Ленина и в лесах Ярвсельяского и Элваского лесхозов Тартуского района ЭССР. Аналогично методике, описанной выше для полевого фотометра, были получены следующие формулы для вычисления индексов "яркость почвы" ( $SBR_3$ ) и "зеленость" ( $GR_3$ ) на базе измеренных КСЯ:

$$SBR_3 = 0.412 \cdot b_{550} + 0.475 \cdot b_{675} + 0.777 \cdot b_{795} \quad (2)$$

$$GR_3 = -0.439 \cdot b_{550} - 0.644 \cdot b_{675} + 0.629 \cdot b_{795}.$$

где  $b_{550}$ ,  $b_{675}$  и  $b_{795}$  - измеренные КСЯ в соответствующих трех каналах.

### Результаты и обсуждение

#### Сезонные траектории индексов "зеленость" и "яркость почвы" зерновых культур

В сезонной изменчивости КСЯ сельхозкультур прослеживаются определенные закономерности (см., напр. Нильсон и др. (1983)). В связи с этим кажется целесообразным рассмотреть сезонную динамику мультиспектральных характеристик сельскохозяйственной растительности на плоскости "яркость почвы" - "зеленость", прежде чем приступить к изложению динамики мультиспектральных характеристик ландшафта.

Основными факторами, определяющими временной ход КСЯ зерновых культур в первой половине вегетационного периода - от появления всходов до колошения, являются изменение влажности поверхности почвы и проективного покрытия (ПП) - коэффициента покрытия почвы элементами растительности в вертикальном направлении. Зерновые культуры достигают максимального ПП обычно в фазе выхода в трубку или в начале колошения.

На рис. I представлены сезонные траектории характеристик "зеленость" и "яркость почвы" нескольких зерновых культур по нашим наземным измерениям в 1983 и 1984 г. Как видим, до колошения (рис. I, а), траектории  $SBR-GR$  посевов различаются между собой в основном в начале периода вегетации вследствие разной влажности поверхности почвы. Бросается в глаза

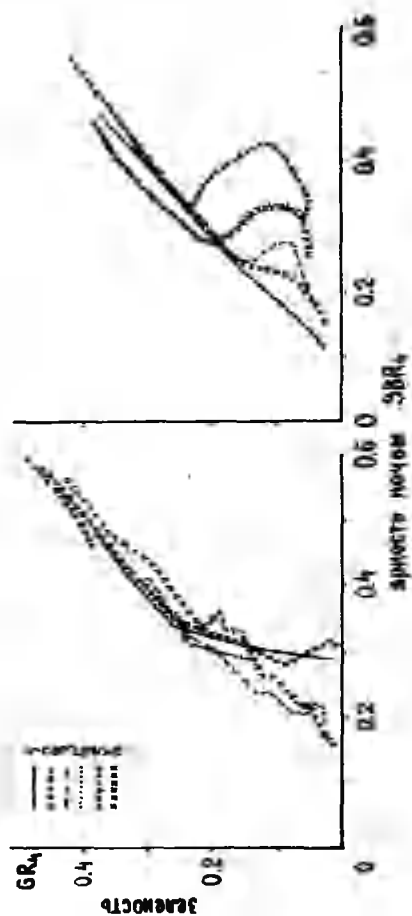


Рис. 1. Сезонный ход характеристик отрезания некоторых посевов сельскотхозяйственных культур на плодородии "Яркость дождя" - "зеленость" в 1983 и 1984 г. а) период до взлета шеница (у озимой риса только весенний период вегетации), б) период после колошения. Кривые: 1 - арван шеница "Арван" (1984), 2 - озимая шеница (1983), 3 - рама "Кустро" (1983), 4 - рама "Кустро" (1984), 5 - ячмень "Треть" (1983), 6 - ячмень "Треть" (1984).

систематическое различие во влажности почвы весной 1983 и 1984 г. - в 1984 г. почва более сухая. По максимальному значению индекса "зеленость" можно судить о максимальной густоте или III различных посевов. Так, например, посевы ячменя "Трит" были в оба года заметно гуще, чем посевы ржи "Кустор". В первой половине вегетации не обнаружено систематических различий в траекториях SBR-GR у различных видов зерновых культур. Единственным исключением может быть ситуация в фазе выхода в трубку, когда рожь значительно выше ячменя и пшеницы. На базе теоретического анализа можно сделать вывод, что высота растений при остальных равных параметрах тоже влияет на КСЯ, а именно, чем выше растительность, тем меньше КСЯ во всех спектральных областях. Таким образом можно ожидать, что у ржи в фазе выхода в трубку значения характеристики "яркость" почвы несколько меньше, чем у ячменя или пшеницы при таком же III культуры.

Временные траектории SBR-GR зерновых культур после колошения имеют обратное направление по сравнению с траекториями до колошения. Объясняется это довольно просто - определяющим является динамика КСЯ в ближней инфракрасной области спектра, в данном периоде вегетации - постепенное его уменьшение.

Начиная с фазы молочной спелости появляются различия в траекториях SBR-GR в зависимости от вида зерновых культур (рис. 1, б). У ржи и ячменя, как правило, наблюдается значительный изгиб траектории в сторону больших значений SBR. При созревании пшеницы имеют систематически меньшие значения характеристики SBR и GR, чем в случае ржи и ячменя в соответствующих фазофазах, также у пшеницы не наблюдается существенного изгиба траектории в фазе восковой спелости. На наш взгляд, изгиб траектории в фазофазе восковой спелости во многом обязан роли колосьев. Причем чем больше III колосьев и чем сильнее они наклонены, тем больше растет индекс "яркость почвы".

#### Сельскохозяйственный ландшафт и лесные насаждения

Индексы "яркость почвы" и "зеленость" можно использовать и для исследования временной и пространственной изменчивости яркостных характеристик ландшафта. На рис. 2 приведено распределение объектов типичного сельскохозяйственного ландшафта-

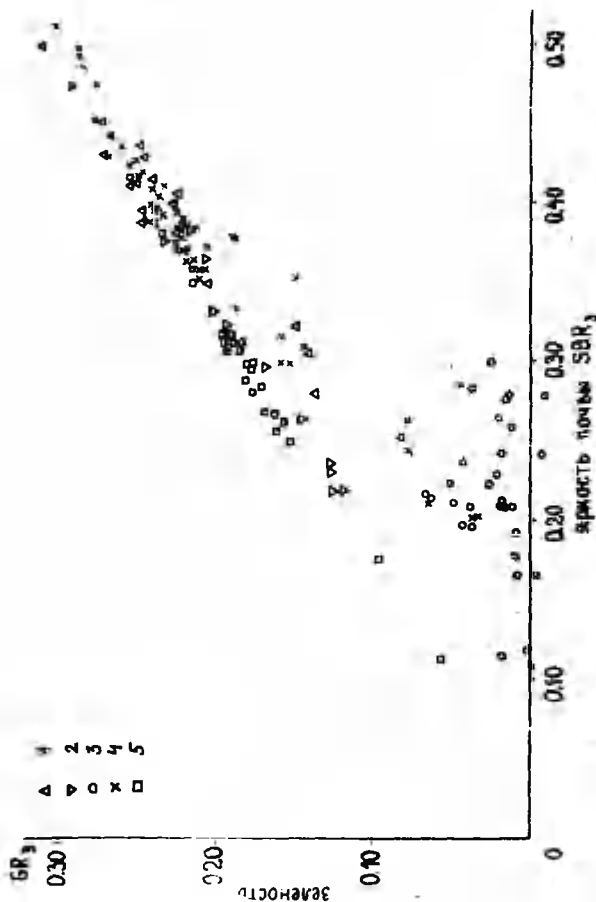


Рис. 2. Распределение характеристистики отрезания сельхозхозяйст-  
 венных культур на площади "ириность почвы" - "зеленость" ранним летом (18.08.84 г.): 1 - яровая зерно-  
 вые, 2 - озимые зерновые, 3 - картофель и кормовые  
 корнеплоды, 4 - естественные муга и многолетние тра-  
 вы, 5 - левы.

та на плоскости "яркость почвы" - "зеленость", определенное на основе самолетных измерений КСЯ (формулы (2)). Наряду с сельскохозяйственными угодьями на рис. 2 представлены и естественные дуга и перелески.

Бросается в глаза, что точки на плоскости "яркость почвы" - "зеленость" ложатся между двумя прямыми линиями. Снизу ограничивающей линией является ось "яркости" почвы, в окрестности которой по определению находятся поля, на которых всходы еще не взошли, или поля, имеющие лишь незначительное III растительности. В данной раннелетней ситуации это - угодья, занятые картофелем, кормовыми корнеплодами, кукурузой. На этом рисунке представлены и "очень зеленые" объекты, характеризуемые большим контрастом между КСЯ в красной и ближней инфракрасной областях спектра. Такие объекты (зерновые в фазе выхода в трубку и колосения, леса) имеют максимально возможные индексы "зеленость" при заданном индексе "яркость почвы" и тем самым образуют ограничивающую линию сверху, которую мы назвали линией "насыщенной зелености". В промежуточном пространстве на плоскости SBR-GR на рис. 2 находятся посевы в стадиях развития до смыкания растительности. Для многолетних трав, например, возможны различные варианты в зависимости от времени последней косы, расстояние от линии "насыщенной зелености" может характеризовать время до предполагаемой очередной косы.

В период активной вегетации леса как объекты с большим контрастом между КСЯ в видимой и ближней инфракрасной областях спектра расположены вдоль линии насыщенной зелености. На рис. 3 на плоскости "яркость почвы" - "зеленость" изображен выбор чистых еловых, сосновых, березовых, осиновых и черноольховых древостоев, представляющих возрастные группы от молодняков до перестойных. Основной причиной формирования четко различаемых кластеров хвойных и лиственных насаждений является заметно более высокое значение КСЯ в ближней инфракрасной области спектра у лиственных пород по сравнению с хвойными. Пробел между кластерами хвойных и лиственных древостоев заполняется смешанными древостоями разного состава.

На плоскости "яркость почвы" - "зеленость" хорошо прослеживается ход вторичной сукцессии лесов от стадии сплошной вырубki до климаксового состояния. Сплошные вырубki текущего года по значению КСЯ сходны с оголенными почвами с близкими к нулю индексами "зелености". Индекс "яркость поч-

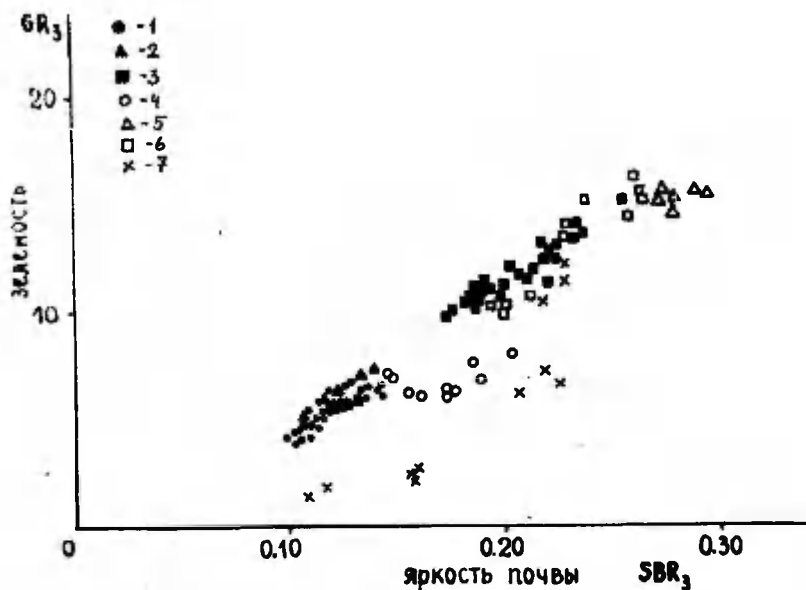


Рис. 3. Распределение характеристик отражения лесов на плоскости "яркость почвы" - "зеленость" поздним летом (03.08.84 г.): 1 - сосновые, 2 - еловые и 3 - лиственные (березовые, осиновые и черноольховые) насаждения, 4 - сосновые, 5 - еловые и 6 - лиственные молодняки, 7 - вырубки.

вы" при этом зависит от типа места произрастания, в данном случае от типа почвы. По мере зарастания вырубок происходит сравнительно быстрый рост индекса "зеленость", продолжающийся до смыкания напочвенной растительности. В дальнейшем происходит постепенное уменьшение этих величин. В молодняковом возрасте при смыкании крон траектория развития древостоев достигает линии "насыщенной зелености", при старении древостоя траектория проходит медленно вниз вдоль упомянутой линии. В средних стадиях сукцессии причиной этого является постепенное появление хвойных деревьев в основном ярусе первоначального лиственного насаждения. В ходе дальнейшего старения насаждения, из-за самоизреживания древостоя и роста и дифференциации высоты деревьев, существенно увеличивается удельный вес теней в пологе крон. Отметим, что первые ссылки на применимость многоспектральной информации для слежения вторичной сукцессии лесов можно найти в работах Г. Селлерона (Selleçon, Saint, Rion, 1983; Selleçon, 1984).

Стабильные климаксовые сообщества (в условиях Эстонии хвойные, как правило, ельники) находятся на рис. 3 на левой нижней части временной траектории на линии "насыщенной зелености". Учитывая вышесказанное, близость к климаксовому сообществу вдоль линии развития может служить функциональным показателем относительной зрелости и стабильности лесной экосистемы.

В качестве комментария к рис. 3 следует отметить, что большая яркость еловых молодняков по сравнению с сосновыми объясняется доминированием естественно возобновившихся лиственных пород, которые в ранних возрастных стадиях растут быстрее елей и затевают их. Полог крон первого яруса формируется в это время из крон лиственных пород с более высокими значениями КСЯ, а ель как теневыносливая порода находится во втором ярусе под лиственными. Зато сосна - порода светолюбивая, и естественно возобновляющиеся лиственные породы в молодняковом возрасте неоднократно вырубает. В работе Хяме (Hämäläinen, 1984) с использованием первых двух главных компонент также показана возможность отличия сосновых молодняков с естественным возобновлением лиственных пород от чистых сосновых молодняков. Отметим, что вследствие вырубок молодняки в сукцессионном отношении отбрасываются назад к более молодому состоянию, это отражается и на траектории развития лесов.

Сезонный ход лиственных насаждений на плоскости напоминает, хотя и растянутый во времени, ход однолетних полевых культур, в частности яровой пшеницы (см. рис. I,б). Хвойные же насаждения по сезонному ходу оптических характеристик вполне заслуживают названия "вечнозеленые", практически в течение всего вегетационного периода они находятся на линии "насыщенной зелени". Интересно отметить, что сезонные сукцессии часто происходят по той же схеме, что и многолетние: в начале сезона происходит быстрый рост биомассы, чему соответствует быстрый рост индекса "зелености". К середине сезона развивается высокое отношение общей фитомассы к ее приросту и устанавливается относительная устойчивость (на линии "насыщенной зелени").

Стрессовые состояния сообществ находят отражение в отклонениях от нормальной временной траектории на плоскости SBR-GR. При появлении стрессового состояния, приводящего к уменьшению листовой поверхности основного древесного яруса, уменьшается в первую очередь КСЯ в ближней инфракрасной области спектра, в результате чего на плоскости SBR-GR следует ожидать необычайно быстрого смещения оптических характеристик древостоя вниз по линии "насыщенной зелени" или немного ниже от этой линии. При массовом пожелтении листьев ожидается в первую очередь увеличение КСЯ в видимой части спектра, что одновременно увеличивает значение индекса "яркость почвы" и уменьшает "зеленость". В итоге это приводит к смещению вниз точки оптических характеристик древостоя с линии "насыщенной зелени".

При помощи индексов "зеленость" и "яркость почвы" оказывается возможной инвентаризация (выявление количества и расположения) естественных и малоизмененных человеком биоценозов - компенсирующих территории в упрощенном сельскохозяйственном ландшафте. К компенсирующим территориям относятся леса, кустарники, естественные луга, болота. Согласно концепции экологически уравновешенного ландшафта, выдвинутой в публикациях Ю. Ягомäги (Jagomägi, 1983; Jagomägi et al., 1987), их роль - компенсировать конфликтные ситуации в природопользовании.

Общим признаком естественных, компенсирующих биоценозов в яркостном отношении является то, что в течение активного периода вегетации они находятся на линии "насыщенной зелени". Трансформированные участки (сельскохозяйственные и за-

строенные угодья и т.п.) можно распознать путем разновременной мультиспектральной съемки. Такая инвентаризация естественных биоценозов практически осуществима только дистанционными методами.

В итоге можно сказать, что использование линейных комбинаций КСЯ или СЯ типа "зеленость" и "яркость почвы" для решения некоторых проблем исследования растительности оптическими дистанционными методами дает определенные преимущества перед самими КСЯ или СЯ. Это, например, позволяет интерпретировать линейные комбинации как физические или биологические факторы и уменьшает размерность информации.

#### Литература

- Нильсон Т.А., Антон Я.А., Аплей В.Б., Кадар Ю.И., Росс В.А., Росс Ю.К. Об оценке степени созревания зерновых культур дистанционными оптическими методами // Исслед. Земли из космоса. - 1982. - № 1. - С. 41-47.
- Нильсон Т.А., Антон Я.А., Аплей В.Б. Сезонный ход коэффициентов спектральной яркости ячменя и ржи // Исслед. Земли из космоса. - 1983. - № 5. - с. 72-80.
- Тезисы докладов XI Всесоюзного совещания по актинометрии. - Таллин, 1980. - Ч. II: Приборы и методы наблюдения. - - 182 с.
- Name T. Interpretation of deciduous trees and shrubs in conifer seedling stands from Landsat imagery // Photograph. J. Finland. - 1984. - Vol. 9, N 2. - P. 209-217.
- Jagomägi J. Ökoloogiliselt tasakaalustatud maa // Eesti Loodus. - 1983. - Nr. 4. - lk. 219-224.
- Jagomägi J., Külvik M., Mander Ü. Ecotone relation in landscape // Agricultural Ecosystems and Environment. - 1987 (to be published).
- Kauth R.J., Thomas G.S. The tasseled cap - a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat // Symp. Mach. Process. Remotely Sensed Data, West Lafayette. Ind. June 29-July 1, 1976. - P. 4B/41-4B/51.
- Selleron G., Saint G., Riom J. Use of Landsat satellite data for multitemporal analysis of Landes forest lumbering

(Nezer forest test site) // Adv. in Space Res. - 1983. - Vol. 2, N 8. - P. 77-80.

Selleron G. Dynamique de la forêt Landaise // Géomètre. - 1984. - Vol. 127, N 3. - P. 55-56.

LINEAR TRANSFORMS OF SPECTRAL REFLECTANCE DATA  
IN LANDSCAPE ANALYSIS

U. Peterson, T. Nilson

S u m m a r y

Linear transforms, such as Soil Brightness and Greenness of 4-channel field radiometer and 3-channel air-borne radiometer data were used in order to characterize the seasonal development of cereals, in percent ground cover estimation, in forest type identification and in forest succession depiction.

As an extension of Kauth and Thomas Tasseled Cap idea a Green Way concept is proposed to distinguish the natural vegetation from field crops and damaged tree stands from healthy ones.

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ОБЪЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛЕЙ ОСАДКОВ В ЭСТОНСКОЙ ССР

Я. Яагус

Значение режима осадков для сельскохозяйственного производства весьма существенно. Исключительная пространственная изменчивость осадков осложняет изучение агрометеорологического режима. Результаты измерений являются репрезентативными только в небольшом радиусе вокруг станции. Для получения более достоверных данных часто прибегают к пространственному усреднению (Каган, 1979).

В решении многих практических задач нуждаются значения сумм осадков в местах, где поблизости нет осадкомерных постов. Тогда производится пространственная интерполяция. Восстановление метеорологических полей с помощью интерполяции называется объективным анализом. Наиболее распространенным в нашей стране методом объективного анализа является оптимальная интерполяция (Гандин, 1963). Обычно он применяется к крупномасштабным метеорологическим полям земного шара. В настоящей работе изучаются возможности использования метода оптимальной интерполяции для объективного анализа мезомасштабных полей осадков на территории Эстонской ССР.

### Статистическая структура

Для проведения оптимальной интерполяции необходимо использовать данные о статистической структуре исследуемого поля. Под статистической структурой метеорологических полей понимают закономерности, которым подчиняются эти поля в среднем. Для определения параметров пространственной изменчивости используется несколько статистических методов, но наибольшее распространение имеет вычисление корреляционных функций. Постановка задачи заключается в расчете парных коэффициентов корреляции между осадками на любых двух станциях и усреднении полученных таким образом значений по градациям расстояний (Гандин, Каган, 1976). Для этого вычисляются корреляционная матрица и матрица расстояний между станциями.

При изучении характеристик пространственной статистической структуры исходят из гипотезы статистической однородности и изотропии, что в какой-то мере соответствует понятию климатической однородности. В случае однородности корреля-

ционная функция не изменится, если перенести пару точек в любое место поля так, что при этом сохранится неизменным расстояние между точками и направление от первой из них ко второй. Поле называется изотропным, если корреляционная функция не изменится при изменении положения точек и неизменности положения центра отрезка, соединяющего эти точки, и при изменении величины того же отрезка.

Учитывая сравнительно малую территорию, поле осадков в Эстонии можно условно считать однородным и изотропным. Но это предположение оправдывается не всегда. Воздействие свойств подстилающей поверхности, в первую очередь моря и рельефа, может привести к неоднородности поля осадков.

В настоящей статье исследуется статистическая структура поля осадков на территории Эстонской ССР на базе массива данных, составленного в Эстонской агрометеорологической лаборатории. Массив содержит месячные, годовые и сезонные суммы осадков всех станций и постов за период 1866–1985 гг. В отдельности рассматриваются теплое (IV–X) и холодное (XI–III) полугодие, весна (III–V), лето (VI–VIII), осень (IX–XI) и зима (XII–II).

Корреляционные функции были рассчитаны отдельно за три наиболее однородных периода: 1920–1944 (63 станции и поста), 1945–1965 (88), 1966–1985 гг. (105). Более ранний период не рассматривался из-за недостаточной густоты метеорологической сети и нерегулярности наблюдений. Общие результаты о статистической структуре получены за период 1945–83 гг. с использованием данных 75 станций и постов (рис. 1–3).

Обычно корреляционные функции изображаются графически. На рис. 1 приведены функции осадков четырех характерных месяцев каждого времени года. С увеличением расстояния между станциями зависимость постепенно убывает. Быстрее всего это происходит летом, что вызвано частым выпадением ливневых дождей местного происхождения. Зимой и весной преобладают обложные осадки и связь между суммами осадков распространяется на большие расстояния.

Корреляционные функции не убывают монотонно. До 50–60 километров корреляция уменьшается быстро, а дальше значительно медленнее. Это особенно характерно для летних и в меньшей степени для осенних осадков. Можно предположить, что этого расстояния достигают размеры очагов местных осадков. Корреляция осадков на более крупных территориях связана с циклонической деятельностью.

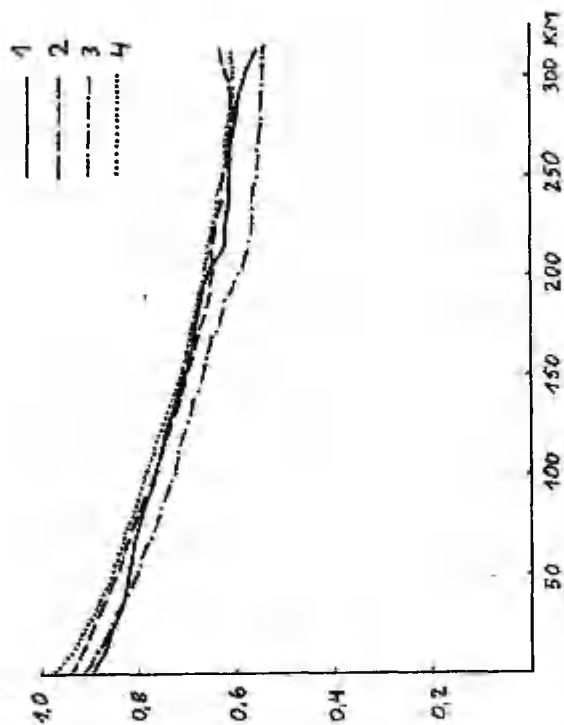


Рис. 1. Корреляционные функции месячных сумм зазвонков.  
 1 — январь, 2 — апрель, 3 — май, 4 — ноябрь.

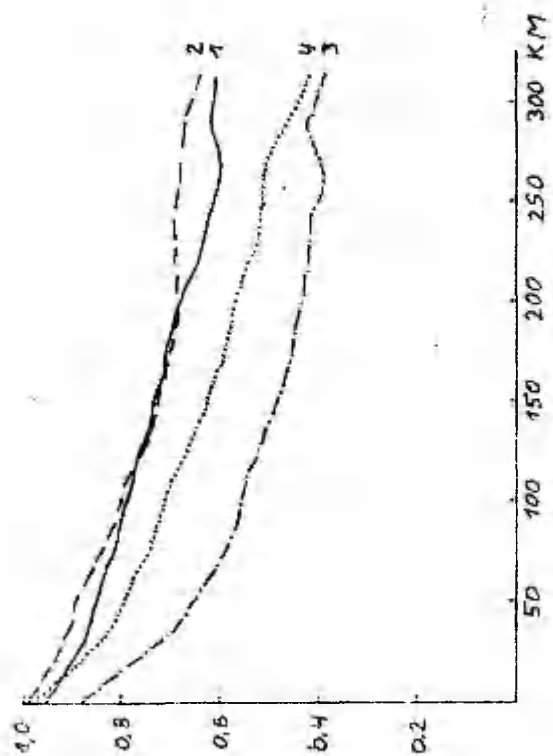


Рис. 2. Корреляция между функциями сезонных сумм осадков.  
 1 - пшеница, 2 - яровая пшеница, 3 - озимая пшеница, 4 - овес.

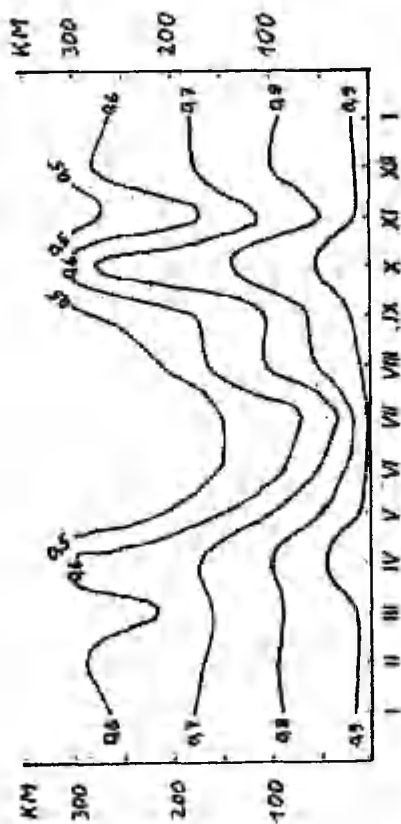


Рис. 3. Годовой ход корреляционных функций месячных сумм осадков.

Графики корреляционных функций экстраполируются к условному расстоянию 0 км, где корреляция не доходит до единицы. Разница обусловлена погрешностями в расположении осадкомерных пунктов. Мера ошибки за счет этого определяется по формуле

$$\eta = \frac{1 - \kappa(0)}{\kappa(0)}, \quad (1)$$

где  $\kappa(0)$  — значение функции, экстраполированной к условному расстоянию 0 км. Мера ошибки достигает 0,1 летом и зимой. Весной и осенью она значительно меньше.

Статистическая структура месячных сумм осадков более изменчива, чем сезонных сумм (рис. 2). Чтобы изучить устойчивость корреляционных функций, можно сравнить их за три разных периода. В 1920–1944 гг. связь, как правило, наиболее слабая, особенно зимой. Это вызвано меньшей точностью измерения осадков. Более тесная связь наблюдалась в августе, сентябре и феврале в период 1945–1965 гг. В остальные месяцы статистическая структура достаточно устойчива во времени.

Годовой ход корреляционных функций месячных сумм осадков изображен на рис. 3. На горизонтальную ось нанесены месяцы, на вертикальную ось — расстояния между станциями и постами. Расстояния с одинаковой корреляцией соединены изокоррелятами. Густое сосредоточение изокоррелятов означает быстрое убывание корреляционной функции. Годовой ход на рис. 3 выражен отчетливо. В переходные месяцы, в апреле и октябре, наблюдаются максимумы корреляции. Минимум встречается в июне и июле.

Корреляционные функции сумм осадков в Эстонии хорошо аппроксимируются экспоненциальной зависимостью, предложенной Каганом (Каган, 1966)

$$\kappa(\rho) = \kappa(0)e^{-\frac{\rho}{\rho_0}}, \quad (2)$$

где  $\rho_0$  — радиус корреляции, т.е. расстояние, где значение функции убывает в  $e$  раз. В зимние и весенние месяцы корреляционная функция убывает медленно, и радиус корреляции выходит за пределы Эстонской ССР.

Установлено, что характер корреляционной функции осадков зависит от географической широты (Сиротенко, 1970). На более южных широтах (Буйков и др., 1967; Тюрбебаева, Чичасов, 1977; Геткер, 1973) убывание функции из-за лигневых осадков значи-

тельно более быстрое. Сравнивая результаты настоящей работы со статистической структурой полей осадков территорий, находящихся в сходных природных условиях с Эстонией (Голубев и др., 1965; Гущина и др., 1967; Полищук, 1972; Вйремова, 1970; Huff, Shipp, 1969), можно заключить, что корреляционная функция сумм осадков в Эстонии убывает довольно быстро. Это свидетельствует о том, что пространственная изменчивость осадков здесь больше, чем в других частях северной половины ЕСС.

### Результаты объективного анализа

Для восстановления полей осадков используется регулярная прямоугольная сетка, нанесенная на карту Эстонии и соответствующая требованиям печатающего устройства ЭВМ (Каринг, 1978). В узлах сетки находятся контрольные точки, где с помощью оптимальной интерполяции рассчитываются суммы осадков (Яагус, 1983). Одна точка описывает прямоугольник размерами 7x6 км. Всего на территории Эстонской ССР расположено 945 контрольных точек.

При интерполяции учитываются данные четырех ближайших станций или постов. Для густой осадкомерной сети этого вполне достаточно. Увеличение числа влияющих станций приведет к излишнему пространственному сглаживанию. Расстояния вычисляются в географических координатах по формуле, выведенной из теоремы Пифагора,

$$\rho = 111,2 \times \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + \cos^2 \left( \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \right) \times (\lambda_1 - \lambda_2)^2}, \quad (3)$$

где  $\varphi$  - географическая широта и  $\lambda$  - долгота.

В результате объективного анализа на ЭВМ печатаются карты осадков в Эстонии в масштабе 1:1500000. Суммы осадков в контрольных точках выражены символами. Для метода оптимальной интерполяции характерно некоторое сглаживание поля. Ошибки в интерполяции возникают в крайних частях Эстонии, где контрольные точки окружены осадкомерными пунктами не с каждой стороны, и интерполяция превращается в экстраполяцию.

Точность интерполяции и мера ошибки были изучены эмпирически. Сравнивали измеренные и интерполированные суммы осадков, определяли средние квадратические отклонения в миллиметрах и в процентах от среднего. Анализу подверглись два различных массива данных.

1. Данные наблюдений, измеренные в течение 20 лет (1961-

80), были разбиты на две части. Основной массив образовался из сумм осадков 60 станций и постов. По этому массиву проводилась интерполяция. Другой массив состоял из данных 66 станций и постов, которые не вошли в основной массив. Эти данные сравнивались с интерполированными по основному массиву суммами осадков. Осреднение по станциям результаты приведены в таблице I (период I).

2. В последние десятилетия создана обширная сеть агрометеорологических постов в колхозах и совхозах Эстонии (Изучение микроклимата ..., 1980). Суммы осадков в 130 таких постах на территории пяти административных районов в период 1978-1985 гг. были сопоставлены с рассчитанными значениями. При интерполяции использовали данные более ста гидрометеорологических станций и постов. Результаты сравнения в таблице I (период 2) хорошо сходятся с предыдущими. Разницы в мае, июне и октябре объясняются дождливыми годами в последнее десятилетие. Средние значения, а также проценты от среднего варьируются в разные периоды.

Из приведенного следует, что в случае применения метода оптимальной интерполяции к объективному анализу полей месячных осадков в Эстонии ошибка достигает 25%. Летом погрешности наивысшие, осенью они значительно ниже. Из-за большой территориальной изменчивости не удалось получить лучшей точности при восстановлении полей осадков в Эстонии.

Таблица I

Сравнение измеренных и вычисленных сумм осадков

	Период I		Период 2	
	мм	%	мм	%
Январь	8	23	-	-
Февраль	7	26	-	-
Март	7	23	-	-
Апрель	7	19	7	26
Май	9	21	12	25
Июнь	13	26	16	24
Июль	19	25	20	25
Август	18	24	18	27
Сентябрь	13	18	13	16
Октябрь	10	15	12	18
Ноябрь	10	15	-	-
Декабрь	10	19	-	-
Теплый период	-	-	48	10
Год	69	11	-	-

## Литература

- Буйков М.В., Прихотько Г.Ф., Прихотько Н.А., Тарасюк В.К. Корреляционные функции сумм осадков и ошибки при измерении слоя летних осадков по данным осадкомерной сети экспериментального метеорологического полигона // Труды УкрНИГМИ. - 1967. - Вып. 67. - С. 18-23.
- Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей. - Л., 1963. - 287 с.
- Гандин Л.С., Каган Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. - Л., 1967. - 359 с.
- Геткер М.И. О статистической структуре поля осадков в Средней Азии // Труды САНИГМИ. - 1973. - Вып. 3(84). - С. 100-107.
- Голубев В.С., Зотимов Н.В., Зыков Н.А. Некоторые результаты исследования жидких осадков в районе Валдайской возвышенности // Труды ГГИ. - 1965. - Вып. 123. - С. 5-14.
- Гущина М.В., Каган Р.Л., Полищук А.И. О точности определения среднего слоя осадков на площади // Труды ГГО. - 1967. - Вып. 208. - С. 49-63.
- Щермова Н.И. О пространственной статистической структуре атмосферных осадков, осредненных по большим площадям // Труды ГГО. - 1970. - Вып. 258. - С. 88-109.
- Изучение микроклимата сельскохозяйственных земель в Эстонской ССР. - Таллин, 1980. - 78 с.
- Каган Р.Л. К оценке репрезентативности осадкомерных данных // Труды ГГО. - 1966. - Вып. 191. - С. 22-34.
- Каган Р.Л. Осреднение метеорологических полей. - Л., 1979. - 213 с.
- Каринг П.Х. Расчет климатических показателей влагообеспеченности и их площадных характеристик на ЭВМ // Уч. зап. Тарт. ун-та. - 1978. - Вып. 440. - С. 25-34.
- Полищук А.И. К вопросу о статистической структуре поля зимних осадков. - Труды ГГО. - 1968. - Вып. 215. - С. 154-156.
- Полищук А.И. О статистической структуре летних осадков // Труды ГГО. - 1972. - Вып. 286. - С. 39 - 54.
- Сиротенко О.Д. Статистическая структура полей декадных сумм осадков на Европейской территории СССР в теплую часть года // Труды ИЗМ. - 1970. - Вып. 18. - С. 3 - 8.
- Теребенева С.И., Чичасов Г.Н. О статистической структуре летних осадков в Казахстане // Труды КазНИГМИ. - 1977. -

- Вып. 63. - С. 18 - 36.

Яагус Я.Я. Применение метода оптимальной интерполяции при составлении карт осадков Эстонской ССР // Проблемы геоинформатики. - Тарту, 1983. - С. 76 - 78.

Huff F.A., Shipp W.L. Spatial correlation of storms, monthly and seasonal precipitation // J. Appl. Meteorol. - 1969. - Vol. 8, N 4. - P. 542-550.

## STATISTICAL STRUCTURE AND OBJECTIVE ANALYSIS OF PRECIPITATION FIELDS IN ESTONIAN S.S.R.

J. Jaagus

### S u m m a r y

The aim of the article is to study possibilities of using optimal interpolation at the objective analysis of mesoscale precipitation fields on the territory of the Estonian S.S.R. Therefore, information about statistical structure of precipitation fields is needed. Correlation function of monthly, yearly and seasonal rainfall totals are investigated during 1920-1985. The quickest decrease of correlation function takes place in summer (fig. 1-3) when local showers obtain greater importance. The slowest decrease is observed in april and in october.

A regular rectangular network is used to reconstruct precipitation fields. Totals of rainfall are calculated in nodal points of the network using data of four nearest meteorological stations. On the territory of Estonia there are 945 nodal points. Precipitation maps are printed by computer. The precision of optimal interpolation and errors are estimated on the ground of empirical data (table I). The mean error of interpolation of monthly totals is 23-26 % that is equal to 20 mm in summer rainfall. The precision of interpolation in autumn is noticeably greater.

## ПРОБЛЕМЫ ГИДРОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОТОКОВ ЭСТОНСКОЙ ССР

Л.-П. Куллус

Несмотря на то, что на территории СССР работает довольно густая сеть постов гидрологических наблюдений (как правило, наиболее густая в Европейской части территории) с рядом наблюдений 50 лет и более на многих постах, в печати опубликовано несколько критических статей, рассматривающих вопросы размещения наблюдательской сети. Например, Е.С. Змиева и А.И. Субботин (1976, с. 50) пишут: "Сеть гидрологических наблюдений в СССР в течение многих лет создавалась без достаточного научного обоснования. Гидрологи здесь отошли от идей Глушкова<sup>х</sup> и, надо сказать, не очень удачно использовали опыт своих коллег-метеорологов. Объединение гидрологов и метеорологов в одной службе привело к тому, что принцип равномерного размещения сети наблюдательных пунктов по территории, оправданный для метеорологических наблюдений, проводящихся в однородных условиях метеорологической площадки и будки, стал преобладать и в гидрологии, где таких условий создать, конечно, нельзя".

В конечном счете критика заключается в том, что посты гидрологических наблюдений располагаются на реках случайно, без учета ландшафтной дифференциации речных бассейнов. По этой причине данные, в том числе и многолетние средние большинства гидрологических постов не дают достоверного представления о территориальных различиях в гидрологическом режиме рек.

Вопросы взаимосвязи вод суши и географических ландшафтов, в особенности проблемы (вторичного) внедрения гидролого-географического метода для изучения внутренних водоемов рассматриваются в сборнике статей "Вопросы географии, 102. Ландшафт и воды" (М., Мысль), опубликованном в 1976 году. В предисловии к указанному сборнику (с. 9) написано: "Природные и искусственные водоемы и водотоки - одна из основных

---

<sup>х</sup> Здесь авторы ссылаются на то обстоятельство, что В.Г. Глушков (1934) уже в 30-х годах обосновал гидролого-географический метод исследования вод суши.

составных частей географического ландшафта, в формировании которого они играют весьма активную роль. В то же время гидрологический режим водных объектов, в том числе и созданных человеком, целиком находится под воздействием всех других компонентов ландшафта. В результате этого, например, сток в бассейнах рек, расположенных в одинаковых климатических условиях, но имеющих различный рельеф, почвы, растительность, может быть совершенно разным как по величине, так и по качеству вод".

Описанное положение подтверждается, между прочим, данными и двух соседних рек Эстонии - средний многолетний слой стока р. Педья в створе водпоста Тырве составляет 108 мм, а в створе водпоста Пылтсамаа р. Пылтсамаа - 142 мм (Ресурсы..., 1978).

Из сказанного вытекает необходимость более последовательно применять при изучении внутренних водоемов гидролого-географический метод, или, что будет еще точнее - гидролого-ландшафтный метод, предложенный В.Г.Глушковым. В упомянутом сборнике статей ставятся три основные цели применения гидролого-ландшафтного метода исследования: 1) заблаговременность получения необходимых гидрологических данных (в основном для решения прогностических задач, Л.К.), 2) обеспечение необходимой достаточной точности данных о стоке для водохозяйственных расчетов и 3) получение непосредственных данных о водных ресурсах, подобно тому, как их получают геолог, почвовед, лесовод и другие специалисты, изучающие природные ресурсы (Петров, 1976, с. 18).

Помимо определения статистических параметров стока рек перед гидрологами ставится принципиально новая задача - изучить весь комплекс географических факторов, участвующих в формировании стока и режима рек.

Хотя основная часть действующей на территории Эстонской ССР гидрологической сети организована независимо от остальной территории СССР (сеть гидрологических наблюдений на территории ЭССР создана в основном во время буржуазной Эстонии в 20-30 гг.), в размещении ее также не учитывалось распространение ландшафтных единиц. Это вполне понятно, т.к. в ландшафтном изучении республики в те годы делались только первые шаги, а крупные ландшафтные исследования развернулись в основном только после Великой Отечественной войны и продолжают развиваться до настоящего времени. На территории Эстонской ССР выделены ландшафтные районы и подрайоны (Vager, 1978), а по исследованию территории республики на уровне местностей

составлены только первоначальные схемы. Гидрографическая сеть Эстонии пока не изучалась ни по ландшафтным районам, ни по подрайонам, не говоря уже об исследованиях на уровне местностей.

Что касается вопроса изучения внутренних вод Эстонии по гидролого-ландшафтному методу, то предпосылки для внедрения названного метода вполне благоприятны. Этому способствует преобладание в Эстонии малых рек — 94,3 % рек республики не превышают длину 10 км и только шесть рек имеют длину более 100 км. По величине водосборной площади также преобладают малые реки, т.к. в республике насчитываются только 15 рек с водосбором свыше 1000 кв. км (Ресурсы..., 1972). Следовательно, преобладающее большинство рек находится в пределах распространения одного типа мезорельефа. Эта особенность текучих вод республики, как следует дальше, имеет весьма большое значение.

По состоянию на 1975 год на реках Эстонской ССР гидрологические наблюдения ведутся на 88 постах (Ресурсы..., 1978), т.е. в среднем на каждые 518 кв. км территории имеется один гидрологический пост. Приведенная средняя величина, 518 кв. км, разумеется, не отражает фактического распределения водосборных площадей существующих водпостов по размерам — они колеблются в пределах 0,029 кв. км (водпост Кярде IV магистрального канала Кярде) и 56 100 кв. км (водпост Нарва-Йэсуу р. Нарва), но можно полагать (подобных сведений не имеется), что по сравнению с другими союзными республиками это наименьшая территория на один водпост. Отсюда следует, что сравнительно густая гидрометрическая сеть сама по себе является хорошей предпосылкой для внедрения гидролого-ландшафтного метода при изучении вод суши Эстонской ССР.

В литературных источниках нет конкретного ответа на вопрос, какую таксонометрическую единицу ландшафтного расчленения следует принять за основу при гидролого-географических исследованиях какой-либо территории.

Сотрудниками отдела гидрологии Гидрометцентра Управления гидрометеорологии ЭССР на территории республики выделено семь гидрологических районов. Эти районы вырисовываются на основе величины коэффициента естественной зарегулированности ( $Q$ ) рек, через которую отражаются особенности питания и водного режима рек. Некоторые данные гидрологических районов ЭССР приведены в таблице I.

Таблица I  
Средний многолетний слой стока (мм) рек и его  
образование по гидрологическим районам Эстонской ССР  
(по данным "Ресурсов...", 1972)

Гидрологический район	Норма стока	Снеговая вода		Дождевая вода		Грунтовая вода	
		мм	%	мм	%	мм	%
		1. Юго-восточный	249	78	31	74	30
2. Северо-восточный	255	104	41	74	29	77	30
3. Карстовый	289	85	29	50	18	154	53
4. Северо-западный	299	97	32	104	35	98	33
5. Западный	278	95	35	138	50	42	15
6. Юго-западный	284	94	33	114	40	76	27
7. Островный	272	74	27	123	45	75	28
В среднем по Эстонии	273	90	33	88	32	95	35

Не отрицая существенных различий в средних характеристиках гидрологических районов, приходится считать данную схему районирования недостаточно детальной для характеристики различий природных условий на территории республики. Это подтверждается значительным колебанием характеристик рек от их средних по району, что свидетельствует о значительных различиях формирования стока внутри района в зависимости от его ландшафтной дифференциации.

На схеме ландшафтного расчленения Эстонской ССР, составленной проф. Э. Варепом (Varep, 1978), выделено и охарактеризовано 23 ландшафтных района и подрайона. По сравнению с предыдущей схемой гидрологического районирования, она намного детальнее и нет сомнений в том, что изучение вод суши республики по ландшафтным районам и подрайонам дает более конкретную картину о закономерностях формирования стока и водного режима по территории. В то же время надо учесть тот факт, что ландшафтные районы и подрайоны имеют сравнительно крупные размеры, а, следовательно, и различия природных условий в пределах названных единиц весьма значительны. Поэтому нельзя ограничиваться гидролого-ландшафтными исследованиями на уровне ландшафтных районов и подрайонов. Достаточ-

но детальную картину о связях между водами суши и ландшафтными единицами представляют исследования на уровне таких ландшафтных единиц, в пределах которого наблюдается известная общность природных условий и факторов (осадочного фундамента, четвертичных отложений, мезорельефа, почвенно-растительного покрова и местного климата). Такой единицей следует, по-видимому, считать местность - природно-территориальный комплекс, образованный в пределах одного морфогенетического типа (мезо)рельефа.

Нет надобности доказывать, что изучение всей территории республики гидролого-географическим методом на уровне местностей нам сейчас еще не под силу. Вероятно, здесь, как и в случае ландшафтных исследований следует определить т. н. ключевые участки и изучить их детально, а характеристики для остальных (неизученных) участков вычислять методом аналогов. Степень достоверности вычисляемых характеристик зависит от изученности ландшафтных компонентов и структуры частных бассейнов рек, чтобы полученные характеристики изученных ключевых участков (частных бассейнов) переводились по действительно аналогичным им частным бассейнам. При детальном гидролого-географическом изучении ключевых участков частных речных бассейнов отпадает необходимость в изучении всего сложного процесса продвижения воды от падения капли атмосферных осадков на земную поверхность до выхода ее в реку, так как гидролога интересует по существу лишь результат названного процесса - сток реки. Но принимая во внимание то, что особенности формирования стока рек зависят от множества ландшафтных компонентов, при переводе характеристик ключевых участков методом аналогов на другие участки бассейнов необходимо стремиться к наибольшему ландшафтному сходству между ключевыми и аналогичными участками.

Что касается вопроса "судьбы" существующей гидрометрической сети постов в свете внедрения гидролого-географического метода исследования рек, то здесь недопустимы поспешные решения. Основным законом следует считать постоянство местонахождения водпостов. К этой категории относятся все замыкающие водпосты (гидростворы) речных систем. Ведь они характеризуют суммарный сток водосбора и, как правило, имеют ряд продолжительных наблюдений. Водпосты на притоках рек, примыкающих к границе местностей, ландшафтных подрайонов или районов, оставить на прежнем месте или перевести на более

характерное место, организовав в последнем случае параллельные наблюдения для сохранения единого ряда наблюдений. Все водопосты с небольшой водосборной площадью, местонахождение которых в ландшафтном отношении неудачны, следует закрыть и вместо них открыть новые в научно обоснованных местах.

Ландшафтное исследование частных речных бассейнов, проведение границ местностей и выбор из них ключевых участков немислимо производить без участия специалистов-ландшафтоведов. Проведение первоначальных гидрологических исследований на ключевых участках рек можно совместить с учебной практикой по гидрологии студентов географического отделения ТГУ.

#### Литература

Вопросы географии. - М., 1976. Вып. 102: Ландшафт и воды. - 208 с.

Глушков В.Г. Географо-гидрологический метод // Тр. Первого Всесоюз. геогр. съезда. - Л., 1934. - Вып. 3.

Змиева Е.С., Субботин А.И. Состояние и научно-методические основы ландшафтно-гидрологических наблюдений на малых водосборах СССР и за рубежом // Вопросы географии. - М., 1976. - Вып. 102: Ландшафт и воды. - С. 47 - 69.

Петров Г.Н. Гидролого-географическая изученность водных ресурсов Среднего Поволжья // Вопросы географии - М., 1976. - Вып. 102: Ландшафт и воды. - С. 13 - 29.

Ресурсы поверхностных вод СССР. - Л., 1972. - Т. 4, вып. 1. - 552 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР: Основные гидрологические характеристики. - Л., 1978. - Т. 4, вып. 1. - 238 с.

Varep E. Maastikuline liigestus // Nõukogude Eesti: Entsüklopeediline teatmeteos. - Tallinn, 1978. - Lk. 31-36.

PROBLEME DER HYDROLOGISCH-GEOGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNG  
DER FLIEßGEWÄSSER DER ESTNISCHEN SSR

L.-P. Kullus

Z u s a m m e n f a s s u n g

In den vorigen Jahren wurden Artikeln publiziert, die Anordnung des Wasserpegelnetzes der UdSSR kritisieren. Die Wasserpegel verteilen sich auf den Flüssen in zufälliger Anordnung, ohne Berücksichtigung der landschaftlichen Gliederung des Abflußgebietes, obschon W. Gluschkow in den 30er Jahren des gegenwärtigen Jahrhunderts die hydrologisch-geographische Methode empfohlen hatte. Aus dieser zufälligen Anordnung des Wasserpegelnetzes folgt, daß die Angaben der einzelnen Wasserpegel, einschließlich auch die mittleren Jahreswerte, kein wahrheitsgetreues Bild über die territorialen Eigentümlichkeiten des Abflusses und Wasserregimes geben können.

Die Fragen der Abhängigkeit des Gewässers von der geographischen Landschaft werden in Sammelband "Geographische Fragen, 102. Die Landschaft und das Gewässer" (Moskau, 1976) behandelt. In diesem Sammelband wird wieder die Aktualität der hydrologisch-landschaftlichen (geographischen) Methode für die Untersuchung des Gewässers hervorgehoben, weil das Regime des Gewässers unter Einfluß aller Komponenten der geographischen Landschaft steht. Ferner werden dort auch die Aufgaben und Ziele der hydrologisch-landschaftlichen Untersuchungsmethode charakterisiert.

Das Wasserpegelnetz der Estnischen SSR ist auch ohne Berücksichtigung des landschaftlichen Prinzips aufgebaut, weil in den 20er und 30er Jahren, als die meisten Wasserpegel gegründet wurden, die landschaftlichen Untersuchungen Estlands in ihrem Anfangsstadium lagen. Doch haben die Untersuchungen der estnischen Gewässer auf Grund der hydrologisch-landschaftlichen Methode ganz gute Voraussetzungen, weil 1) in Estland die meisten Flüsse klein sind und kleine Flächen des Zuflußgebietes haben und 2) das Wasserpegelnetz verhältnismäßig<sup>2</sup> dicht ist (auf ein Wasserpegel kommt durchschnittlich 518 km<sup>2</sup> Festland).

Die Mitarbeiter der hydrologischen Abteilung des Hydrometeorologischen Zentrums des ESSR haben die Estnische SSR in 7 hydrologische Rayons eingeteilt. Prof. E. Varep unter-

scheidet und charakterisiert 23 Landschaftsrayons und Unter-rayons. Um die Eigentümlichkeiten der Bildung und des Regimes eines Gewässers kennenzulernen, müssen die Untersuchungen der Teile der Zuflußgebiete auf dem Niveau der Örtlichkeiten durchgeführt werden. Die typischen Teile der Zuflußgebiete müssen als Schlüsselgebiete ausführlich untersucht werden, für die übrigen Festlandteile können die Charakteristiken auf Grund der Analogiemethode übertragen werden. Eine Vorbedingung für die Anwendung der Analogiemethode sind die gründlichen Kenntnisse der landschaftlichen Struktur aller Teile der Zuflußgebiete.

## ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ГЕОСИСТЕМ: ПОТОКОВЫЙ ПОДХОД

Ю.Я. Роосааре

### Введение

Классическое ландшафтоведение занималось больше статикой, чем динамикой ландшафта. Ландшафтоведов до сих пор интересовал вопрос, как сделать превосходнейшую, универсальную карту, нежели то, что делать с такой картой. Ландшафтоведы были уверены, что их исследования наиболее комплексны (т.е. "системны" согласно современной терминологии).

Хотя модель-представление ландшафтоведения в действительности кажется более "системной", чем экологическая модель (рис. I) и хотя обе модели были приняты в вооружение более или менее одновременно, практика доказала несравненно большую удачность экологической модели-представления. Причина заключалась не столько в том, что многие видные экологи выдвинулись одновременно и в лидеры развития теории систем, сколько в том, что выбранная ландшафтоведением модель-представление при исследовательских средствах того времени оказалась безнадежно сложной. Применяя картографирование, классифицирование и редукционизм, ландшафтоведение стало удаляться от фундаментальных проблем природоведения. Неслучайно, что проблемы функционирования и динамики, а также вопросы инструментальных измерений вошли в ландшафтоведение через отраслевые стационарные исследования. А если сравнивать монографии по учению о ландшафте (Исаченко, 1980; Мильков, 1986) и по изучению динамики геосистем (Краулис, 1979; Беручашвили, 1986), то заметим, что во всяком случае в отечественной географии определенный разрыв между ними сохранился до сих пор.

Если когда-то многое можно было объяснить тем, что экологи, биогеогеографы, стационаристы и т.д. работают на маленьких площадях, в "точке", а ландшафтоведы - на территории, то сейчас, при широком применении дистанционных методов и средств компьютерной картографии, такое утверждение неправомерно.

Интересно другое: во многих исследованиях во всем мире, дающих практически важные результаты и именуемых экологами исследованиями, по существу применяется модель-представление ландшафтоведения. Основная причи-

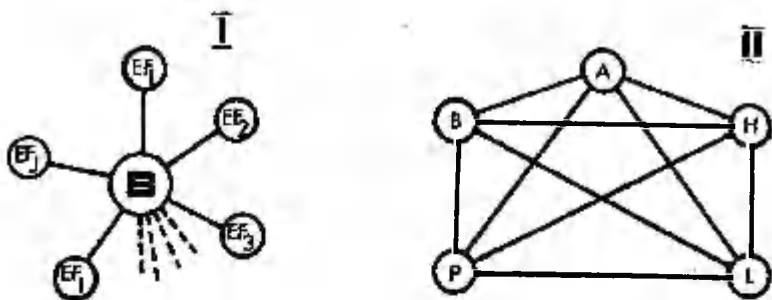


Рис. I. Упрощенные модели-представления экологии (I) и ландшафтоведения (II).

Обозначения: А - атмосфера, В - биота, Н - гидросфера, Р - педосфера, L - литосфера,  $EF_1$  - факторы среды, влияющие на биоту.

на этого в том, что при необходимости изучения круговоротов связи между  $EE_I$  и  $EB_J$  (рис. I) могут оказаться не менее важными, чем между В и  $EE_I$  или между В и  $EE_J$ . При возрастании сложности предмета изучения экология не становится супернаукой, а выбирается другой путь - исследования организуются не по природным объектам, а по проблемам; исследовательские коллективы становятся междисциплинарными. То же самое происходит с применением системного подхода и в географии (Проблемы..., 1982; Мекулин, 1984).

Слово "геосистема" не имеет в географии единого толкования. Очевидно, чем шире и всеобъемлюще становится понятие "геосистема", тем меньше оно помогает системным исследованиям географии<sup>I</sup>. Назвав в подходах ландшафт или ПТК геосистемой, ничего по существу не изменится.

В настоящей работе "геосистема" (ГС) рассматривается как исследовательская концепция (модель-представление) о бесконечносложной действительности, которая выводится при помощи методологии системного подхода для лучшего достижения цели исследования. Динамика понимается как временное изме-

<sup>I</sup>Обзор этой проблемы дан А.Ю. Ретеюмом и Л.Р. Серебряным (1985. - С. III-129).

нение параметров геосистемы. Цель, которая требует уточнения при каждом проблемном исследовании, пусть будет связана с изучением внутри- и межгодовой (т.е. короткопериодичной по временной шкале) ландшафтной динамики для постижения влияния различных антропогенных воздействий на ГС.

Таким образом, понятие ГС и цель исследования взаимосвязаны. Это следует учитывать каждый раз при их конкретизации, что обычно происходит итеративно.

При выделении ГС главным оказывается удачное установление системообразующего отношения, которое во многом определяет также целостность и границы системы. Вспомогательным принципом является стремление к простоте.

#### Круговороты веществ

Если при вековой и многовековой динамике определяющими становятся геоморфологические процессы (весьма условно - область традиционного ландшафтоведения), то при поставленной цели центральными оказываются биогеохимические процессы (The Handbook ..., 1980), исследования которых в географии принято называть геофизикой и геохимией ландшафтов (Полынов, 1956; Глазовская, 1964).

Антропогенное влияние выражается прежде всего в (нежелательных) изменениях в круговоротах макроэлементов углерода, кислорода, азота, фосфора, серы и в миграциях тяжелых металлов и ксенобиотиков. Основным физическим носителем этих элементов, своего рода "кровообращением" ландшафта является круговорот воды, который и следует выбирать в качестве интегратора ГС, и на основе движения воды определять системообразующее отношение.

В пользу такого выбора можно привести следующие аргументы:

- по количеству движения вода намного превосходит другие составляющие ландшафта (а сравниваемые с ней на глобальном уровне молекулярный азот и кислород атмосферы носят в процессах доновый характер);
- основное количество энергии как в ландшафте<sup>2</sup>, так и на

<sup>2</sup>Затраты тепла на испарение (L) составляют основную расходную статью радиационного баланса земной поверхности (R). В Эстонии весной, при голых почвах L составляет 0,5...0,7 R (Инт.1980), увеличиваясь до 1,0 R при сомкнутом растительном покрове хорошего состояния.

Земле в целом (Энциклопедия..., 1983) трансформируется посредством суммарного испарения, т.е. круговорот воды также энергетически оказывается важнейшим;

- главной составляющей суммарного испарения является транспирация (по С.Ф. Федорову (1977), в еловом лесу среднегодовой транспирация составляет 38% от суммарного испарения), которая посредством устьичной регуляции растений связана с фотосинтезом и, таким образом, с биопродукционным процессом<sup>3</sup>;

- круговороты остальных, представляющих интерес элементов проще присоединить к движению воды (в разных агрегатных состояниях), чем к чему-либо другому;

- основным выходом из ландшафта многих, в том числе и загрязняющих веществ оказывается суммарный сток воды, для точного измерения которого в гидрологии суши имеются методика, опыт и аппаратура<sup>4</sup>;

- вода является для общества важным ресурсом, поэтому по ее запасам, использованию и качеству ведется государственный учет и имеется гораздо больше количественной информации, чем по любому другому компоненту ландшафта.

Выделяя в свете вышесказанного ГС как систему круговорота воды на определенной территории, ее пространственными элементами оказываются сопряженные с общим стоком воды элементарные ландшафты (цели, биогеоценозы, или формальные ОТЕ). Границами между ГС становятся разные водораздельные линии, причем главной проблемой при проведении границ будут различия между водоразделами поверхностных и разных видов подземных вод. Основным вещественным входом в систему являются атмосферные осадки, для измерения которых в метеорологии имеются методика, опыт и государственная сеть.

Таким образом, территориальным выражением ГС оказывается водосборный бассейн ручья, реки, озера...

---

<sup>3</sup>Отмеченная де Витом (de Wit, 1958) тесная линейная зависимость между количеством транспирированной воды и урожаем теперь широко применяется в агрометеорологии.

<sup>4</sup>При этом традиционная гидрология недооценивала ландшафтные различия в формировании стока и качества воды, из-за чего гидрологические данные служат необходимой, но совершенно недостаточной предпосылкой для изучения ГС.

### Бассейновый подход

Сам по себе этот подход не новый ни в ландшафтоведении, ни в гидрологии. Уже в 1805 г. Х.Г. Хоммейэр картировал ландшафты, проводя границы по водоразделам (Schmithüsen, 1976). Ландшафтоведы, занимающиеся типизированием и районированием, выдвинули на первое место требование однородности (ведущего компонента) и водосбор казался им хотя и возможным, но малоинтересным объектом. Широкое внедрение идей системных исследований в физическую географию началось в начале семидесятых годов (Chorley, Kennedy, 1971). Одновременно повысился интерес к потокам вещества и энергии в геокомплексах (Ретеум, 1971)<sup>5</sup>. Соответствующие исследования, требующие инструментальных измерений, развивались главным образом в ландшафтных стационарах, которые возникли в СССР в основном из биогеоценологических и стоковых станций (Стационарные..., 1984). В последних, работающих на бассейновой основе, стали развиваться геосистемные исследования.

В гидрологии бассейновые исследования начались еще в конце XIX века в Швейцарии и особую популярность во всем мире завоевали во время Международного гидрологического десятилетия (1965-74). Обзор этих работ в мире дан Дж. Родда (1980), в СССР - Е.С. Змиевой и А.И. Субботиним (1976). Согласованная международная методика по организации гидрологических исследований в малых бассейнах составлена ЮНЕСКО (Репрезентативные..., 1971). Развиваются т.н. ландшафтно-гидрологические исследования (Гидрологические..., 1986).

Прогресс системного подхода тесно связан не только с развитием средств получения информации, но еще больше - со средствами ее обработки.

Применение ЭВМ позволило создать динамические модели формирования стока (первая, т.н. Стенфордская модель 1962 г.), которые стали применяться при гидрологических прогнозах. (Обзор этих моделей дан в работах Л.С. Кучмента, 1981 и Р.К. Линслея, 1985.) Имитационное моделирование, породившее конструкторов технических систем, стало применяться при расчетах водных сооружений (Великанов и др., 1983), а также все больше для всего круговорота воды.

Однако, решая в основном собственно гидрологические задачи, в этих классических моделях разрабатывались только предпосылки и база для будущих имитационных моделей ГС.

<sup>5</sup> Сравнение ареалогического и системного подходов дано в работе А.Ю. Ретеума (1975).

Упрощенных динамических моделей ГС сейчас в мире много. Например, в Прибалтике созданы модель конкретного польдера (Roosaare, 1984) и обобщенная модель водосбора (Зотов, 1985), которая впоследствии применена к территории бассейна р. Преголи (площадью ~8000 км<sup>2</sup>).

В силу сложности объекта такие разработки неминуемо должны были стать междисциплинарными. Это подтверждает как опыт применения системного подхода в других областях, так, например, и история стационарных геосистемных исследований (Грин, 1983).

Один из первых разработок был проведен в Канаде (Walters, 1974). Обзор английских разработок дает К. Парк (Park, 1984). Современные имитационные системы, созданные для решения проблем бассейнов озера Балатон (David, et al., 1979), Азовского моря (Рациональное..., 1981), р. Карони в Венесуэле (Экологические..., 1981), р. Рейн (Jongman, 1984), р. Сузо в Дании (Rosbjerg, Knudsen, 1985) или водоснабжения г. Мельбурна (Cosgriff, et al., 1985) являются результатом междисциплинарных исследований ГС и дадут практике то, чего не способны дать описательное ландшафтоведение или чистая гидрология.

Повышается интерес к речным бассейнам также у ландшафтных экологов (Desamps, 1984).

Другим важным и приобретающим все большую актуальность направлением является изучение изменения качества воды, связанное главным образом с сельским хозяйством (Bormann, Likens, 1968; Williams, Hann, 1978; Golubev, et al., 1980; Prochazkova, 1980), но и с землепользованием вообще (Dillon, Kirchner, 1975; Slaumaker, 1982; Eutrophication ..., 1984; Phillips-Howard, 1985). Самый komplицированный фактор влияния на качество воды - это загрязнение из неточечных источников загрязнения, которое на первых порах учитывалось оценочно (Maastik, 1984) или весьма упрощенно (Betson, McMaster, 1975).

В общем случае проблема состоит в необходимости оптимизировать потоки биогенов как в интенсивном сельском хозяйстве, так и в природе с сохранением ресурсного потенциала ГС.

Первая модель формирования качества воды PTR была разработана в 1974 г. Агентством по охране окружающей среды США (Crawford, Donigian, 1974). Известным стал модифицированный вариант этой модели - ARM (Donigian, Crawford, 1976). Как и в случае стенфордской модели, дальнейшие разработки были направлены на упрощение первых, для практики слишком громоздких и дорогих моделей. До сих пор самой удачной считается создан-

ная в 1979 г. службой охраны почв США модель CREAMS (1980), которая применяется во многих государствах (Светлосанов, 1984). Обе модели адаптируются и в СССР (Кайрякитис, 1982; Борзилов, Драголюбова, 1982). Сейчас аналогических разработок много (Frere et al., 1975; Modeling ..., 1979; Meentemeyer, Kesner, 1984; Holy, 1986; Опыт..., 1985).

В Эстонской ССР разрабатывается имитационная система для понимания процесса формирования качества воды в водосборном бассейне Матсалуского залива, являющегося заповедником международного значения (Aasmäe et al., 1985; Krõsanova, 1985; Roosaare et al., 1985).

Появляются диалоговые имитационные системы, предназначенные уже для администраторов и природопользователей (Fedga, 1985).

На основе рассмотрения реальных исследований водосборных бассейнов можно сделать следующие выводы: хотя эти работы начинались по инициативе гидрологов, впоследствии они приобрели все более комплексный характер и стали междисциплинарными; обращение главного внимания на потоки вещества (и вместе с тем к путям превращения энергии) диктуется практикой; центральное положение гидрометеорологического звена определяется ролью влагооборота в изучаемых ГС.

#### Литература

- Беручашвили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. - М., 1986. - 180 с.
- Борзилов В.А., Драголюбова И.В. Физико-математическое моделирование поведения пестицидов на малом водосборе // Тр. ИЗМ. - 1982. - Вып. 12(98). - С. 54-79.
- Великанов А.Л., Коробова Д.Н., Пойзнер В.И. Моделирование процессов функционирования водохозяйственных систем. - М., 1983. - 105 с.
- Гидрологические исследования ландшафтов / Под ред. Г.В. Бачурина и Л.М. Корытного. - Новосибирск, 1986. - 208 с.
- Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. - М., 1964. - 229 с.
- Грин А.М. Эволюция идей и методов стационарных исследований геосистем // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 1983. - №4. - С. 25-33.
- Лекулин В.С. О междисциплинарных исследованиях и интеграционных тенденциях в географической науке // Изв. ВГО.

- 1984. - Т. II6. - Вып. 3. - С. 193-199.
- Змиева Е.С., Суботин А.И. Состояние и научно-методические основы ландшафтно-гидрологических наблюдений на малых водосборах в СССР и за рубежом // Вопросы географии. - М., 1976. - Вып. 102: Ландшафт и воды - С. 47-69.
- Зотов С.И. Об имитационном моделировании природно-хозяйственной системы "речной бассейн" // Геогр. и природн. ресурсы. - 1985. - №4. - С. 149-154.
- Инт Л.Э. О влиянии мелиорации на тепловой баланс и микроклимат полей на минеральных почвах // Изучение микроклимата с.-х. земель в ЭССР. - Таллин, 1980. - С. 50-54.
- Исаченко А.Г. Методы прикладных ландшафтных исследований. - Л., 1980. - 222 с.
- Кайрюкшис Л.А. Об оптимизации окружающей среды Литовской ССР посредством моделирования ее территории. - Вильнюс, 1982. - 179 с.
- Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. - Новосибирск, 1979. - 233 с.
- Кучмент Л.С. Гидрологическое прогнозирование для управления водноресурсными системами // Гидрология суши. - М., 1981. - Т. 4. - 119 с.
- Линслей Р.К. Модели "осадки-сток" // Системный подход к управлению водными ресурсами. - М., 1985. - С. 25-59.
- Мильков Ф.Н. Физическая география: Учение о ландшафте и географическая зональность. - Воронеж, 1986. - 327 с.
- Опыт разработки и применения математических моделей бассейнов малых рек / В.А. Румянцев, С.А. Кондратьев, Н.И. Капотова, Н.А. Ливанова - Л., 1985. - 94 с.
- Полынов Б.Б. Избранные труды. - М., 1956. - 751 с.
- Проблемы регионального географического прогноза (состояние, теория, методы). - М., 1982. - 264 с.
- Рациональное использование водных ресурсов бассейна Азовского моря: математические модели / Под ред. И.И. Воровича. - М., 1981. - 359 с.
- Репрезентативные и экспериментальные бассейны: Международное руководство по исследованиям и практике / Под ред. К. Тоубса и В. Урываева. - Л., 1971. - 428 с.
- Ретеюм А.Ю. О геокомплексах с односторонним системообразующим потоком вещества и энергии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 1971. - №5. - С. 122-128.
- Ретеюм А.Ю. Физико-географическое районирование и выделение геосистем // Вопросы географии. - М., 1975. -

Вып. 98: Количественные методы изучения природы. - С. 5-27.

Ретежом А.Ю., Серебрянный Л.Р. География в системе наук о Земле // Итоги науки и техники. Сер. Теоретические и общие вопросы географии. - М.: ВИНТИ, 1985. - Т. 4. - 205 с.  
Родда Дж.К. Исследования речных бассейнов // Грани гидрологии / Под ред. Дж.К. Родда. - Л., 1980. - С. 309-354.  
Светлосанов В.А. Применение модели КРИМС в странах Европы и в США // Вестн. сель.-хоз. науки. - 1984. - 5.-С. 137-140.

Стационарные исследования геосистем. - М., 1984. - 271 с.

Федоров С.Ф. Исследование элементов водного баланса в лесной зоне ЕТС. - Л., 1977. - 264 с.

Экологические системы. Адаптивная оценка и управление / Под ред. К.С. Холинга. - М., 1981. - 397 с.

Энциклопедия ОКЕАН-АТМОСФЕРА. - Л., 1983. - 464 с.

Aasmäe V., Laur A., Fištein G. Matsalu lahe vesikonna seisundit kujundava majandustegevuse mõju modelleerimine // Kaas-aegse ökoloogia probleemid: Rakendusökoloogia küsimusi Bes-tis: Vabariikl. III ökoloogiakonv. teesid. - Tartu, 1985. - Lk. 195-196.

Betson R.P., McMaster W.M. A first generation non-point source mineral water quality model // J. Water Pollut. Control Federat. - 1975. - Vol. 47. - P. 2461-2473.

Bormann F.H., Likens G. The watershed-ecosystem concept and studies of nutrient cycles // The ecosystem concept in natural resource management / Ed. G.M. van Dyne. - New York, London, 1968. - P. 49-76.

Chorley R.J., Kennedy B.A. Physical geography: A systems approach. - London, 1971. - 370 p.

Cosgriff G.O., Forte P.E., Kennedy M.A., Russell J.V., Smith R.D., West A.K. Interactive computer modeling, monitoring and control of Melbourne's Water Supply System // Water Resourc. Res. - 1985. - Vol. 21. - P. 123-129.

Crawford N.H., Donigian A.S. Pesticide transport and runoff model for agricultural lands. - Washington, 1974. - 211 p.

CREAMS: A field scale model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems // USDA Conservat. Res. Rep. - 1980. - N 26. - 640 p.

David L., Telegdi L., van Straten G. A watershed development approach to the eutrophication problem of Lake Balaton (A multiregional and multicriteria model) // IIASA Collaborati-

- ve Paper CP-79-16-Laxenburg, 1979. - 44 p.
- Decamps H. Towards a landscape ecology of river valleys // Trends ecological research 1980. NATO conference ser. I: Ecology. - 1984. - Vol. 7. - P. 163-178.
- Donigian A.S., Crawford N.H. Modeling pesticides and nutrients on agricultural lands: Final report // U.S. EPA, Envir. Protection Technology Ser., EPA-600/2-76-043. - 1976. - 318p.
- Dillon P.J., Kirchner W.B. The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds // Water Res. - 1975. - Vol. 9, N 2. - P. 135-148.
- Eutrophication and land use / Lewis W.M., Saunders J. III, Crumpacker D.W., Breudecke Ch // Ecological Studies. - New York, e. a., 1984. - N 46. - 202 p.
- Fedra K. A modular interactive simulation system for eutrophication and regional development // Water Resourc. Res. - 1985. - Vol. 21, N 2. - P. 143-152.
- Frere M.H., Onstad C.A., Holtan H.N. ACTMO: An Agricultural Chemical Transport Model // USDA, Agricult. Res. Service, ARS-H-3. - 1975. - 54 p.
- Golubev G.N., Shvytov I.A., Vasiliev O.F. A conceptual scheme to study water-related environmental problems of agriculture // MAB Project 5 Workshop: "Land use impacts on lake and reservoir ecosystems". Warsaw, May 20-June 2, 1978. - Wien, 1980. - P. 235-255.
- The Handbook of Environmental Chemistry. - Berlin, et al., 1980-1985. - Vol. 1 (in 4 parts), V. 2, 3 (in 2 parts).
- Holy M. Model vovního hospodarství a zemědělské výroby v povodí vodárenských toků // Vodohosp. čas., - 1986. - Vol. 34, N 1. - P. 37-55.
- Jongman R. The Rhine ecosystem, developments in planning and research // Proc. I intern. seminar on methodol. in landscape ecol. res. and planning. - Roskilde, 1984. - Vol. 4. - P. 57-68.
- Krõsanova V. Matsalu lahe eutrofeerumisprotsessi matemaatilisest modelleerimisest // (CM. Aasmäe, et al., 1985). - Lk. 203-204.
- Maastik A. Veekaitse põllumajanduses. - Tallinn, 1984. - 296 lk.
- Meentemeyer V., Keener B. An Analysis of the nitrogen dynamics in an agricultural landscape using a geographic information system (GIS) // (CM. Jongman, 1984). - Vol. 2. - P. 131-134.

- Modeling of Rivers / Ed. Hsieh Wen Shen). - N.Y., e. a., 1979  
- 1017 p.
- Park C.C. Drainage basin planning, water resources and environmental management in Great Britain // Environmental management: British and Hungarian case studies (Studies in Geography in Hungary, vol. 16). - Budapest, 1984. - P. 113-134.
- Phillips-Howard K.D. The anthropic catchment-ecosystem concept: an Irish example // Hum. Ecol. - 1985. - Vol. 13, N 2. - P. 208-240.
- Procházková L. Agricultural impact on the nitrogen and phosphorus concentration in water // (CM. Golubev, et al., 1980). - P. 78-100.
- Rosbjerg D., Knudsen J. Integrated water resources management within the Susá basin // IAHS Publ. - 1985. N 147. - P. 611-621.
- Roosaare J. A computer simulation model for territorial systems of intensive agriculture // Tartu Riikliku Ülikooli toimetised. - Tartu, 1984. N 676. - P. 87-103.
- Roosaare J., Meiner A., Kaasik T. Mõningaid lähtekohti veeringe imitatiivmodelleerimiseks Matsalu lahe vesikonnas // (CM. Aasmäe, et al., 1985). - Lk. 211-213.
- Schmithüsen J. Allgemeine Geosynergetik (Grundlagen der Landschaftskunde): Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. - Berlin, New York, 1976. -Bd. 12. - 349 S.
- Slaymaker O. Land use effects on sediment yield and quality // Hydrobiologia. - 1982. - Vol. 91. - P. 93-109.
- Walters C.J. An interdisciplinary approach to development of watershed simulation models // J. Technol. Forecasting and Social. Change. - 1974. - Vol. 6, N 3. - P. 299-323.
- Williams J.R., Hann R.W. Optimal operation of large agricultural watersheds with water quality constraints // Texas University, Water Resourc. Inst., Technical Rep. - 1978. - N. 96. - 152 p.
- Wit de C.T. Transpiration and crop yields. - Gravenhage, 1958. - 88 p.

RESEARCH OF DYNAMICS OF THE GEOSYSTEMS:  
A MASS FLOWS APPROACH

J. Roosaare

S u m m a r y

Traditionally the landscape science has investigated statistical characteristics of landscapes. Dynamics has been the subject of hydrometeorological branches of physical geography which have developed the equipment and research methods. The conceptual model of landscape sciences (Fig. 1) exceeded the real possibilities of the time.

The present mass flows research is based on the same conceptual model. As the subject is complicated, problem-oriented interdisciplinary approach is used as well as methods of systems analysis with a wide use of computer simulation technique.

The paper pays attention to water cycle as a general integrator of a system.

Seasonal and annual dynamics of the geosystems are discussed as a basis for environmental impact forecasting and assessment. Emphasis is laid on water cycle as an important part of the system, the characteristic features of which are:

- the greatest momentum of water flow;
- evapotranspiration as the greatest energy transforming process in landscapes and as a connection with the bioproduction process;
- precipitation and run-off as well-measurable in- and outputs of the system, etc.

The territorial equivalent of such a geosystem is a complex of the elementary landscape units connected with a directed water flow within one catchment area; the border being a water barrier.

A survey is given of the research of experimental & agricultural catchment areas from hydrological runoff models up to the interactive simulation systems of water quality formation and computer-aided environmental planning systems.

## ПОЧВЕННАЯ СТРУКТУРА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЛАНДШАФТА

А. Конго

Сельскохозяйственный или агроландшафт по Г. Д. Мухину (1985) представляет собой территорию, сознательно измененную сельскохозяйственной деятельностью человека, постоянно поддерживаемую в нужном продуктивном состоянии, состоящую из угодий, совмещенных с реорганизованными под нее и в ее границах естественными геоконтаксами, искусственно созданными фитоценозом (агрофитоценозом) на месте естественного биоценоза и режимом пользования, необходимым для роста и развития культурных растений. Короче и проще говоря, сельскохозяйственный ландшафт — это антропогенная модификация природных территориальных комплексов, в пределах которых господствующим способом землепользования является земледелие.

Производственный потенциал сельскохозяйственного ландшафта определяется природными условиями и антропогенным воздействием на компоненты ландшафта, особенно на почвы. Природные факторы земледелия делятся на климатические, почвенные и рельефные. Поскольку территория Эстонии распространяется в одном биоклиматическом поле, то прежде всего учитываемыми факторами продуктивности конкретного сельскохозяйственного ландшафта являются рельеф и структура почвенного покрова.

Общеизвестно, что образование, свойства и распространение почв зависят от ряда природных компонентов и приемов земледелия. В распространении почв особое место занимает рельеф. В любой зоне рельеф является распределителем почв. Это положение не следует понимать так, что рельеф является ведущим фактором почвообразования, но вряд ли можно оспаривать, что все факторы почвообразования, а следовательно и почвенный покров, находятся в прямой связи со строением поверхности.

Согласно В. В. Добровольскому (1976) рельеф территории в значительной мере определяет конкретные проявления воздействия других факторов при почвообразовании. Контролируя распределение и взаимоотношение факторов почвообразования, рельеф оказывает весьма сильное влияние на географию почв.

Рельеф выступает прежде всего как распределитель тепла и влаги, а следовательно, гидротермический режим почв, приуроченных к различным элементам рельефа, существенно различается. Эти различия обычно усиливаются в процессе почвообразования. Следовательно, почвы, образующиеся в одной биоклиматической зоне, но в различных условиях рельефа, различаются по всей совокупности факторов почвообразования или большинства из них. Значит, на небольшой территории рельеф служит определяющим условием почвообразования.

Почвы изменяются не только по элементам макрорельефа в связи с изменением общих биоклиматических условий, но и по элементам мезо- и микрорельефа в связи с различиями в условиях увлажнения, миграции веществ с твердым и жидким стоком и т. д. Это положение достоверно подтверждается анализом структуры почвенного покрова равнинных местностей Эстонской ССР.

Почвенный покров какой-либо территории, согласно В. М. Фридланду (1972), вся совокупность почв, развитых на этой территории, то есть трехмерное тело, горизонтальное простираение которого определяется простираемостью почв на рассматриваемой территории, а вертикальное — мощностью почв. Почвы, образующие почвенный покров данной территории, будут называться компонентами почвенного покрова. Компоненты занимают территории — ареалы, т. е. элементарные почвенные ареалы (сокращенно ЭПА).

ЭПА, согласно М. А. Глазовской (1973), пространство занимаемое какой-либо одной почвой, относящейся к классификационной единице наиболее низкого ранга (напр., разновидности почв), и ограниченное другими элементарными почвенными ареалами или непочвенными образованиями. По-другому, ЭПА — почвенное образование, внутри которого отсутствуют какие-либо почвенно-географические границы и которое по своей природе может иметь весьма различную площадь.

Для характеристики почвенного покрова любой территории необходимы материалы, характеризующие его структуру, то есть строение. Наиболее достоверные и подобные сведения о пространственном размещении почв можно получить при крупномасштабных и детальных почвенных съемках. Для всех сельскохозяйственных предприятий и земель гослесфонда в Эстонии составлены подробные крупномасштабные почвенные карты, показывающие расположение ЭПА и дающие некоторые характеристики компонентов почвенного покрова.

Структура почвенного покрова зависит от характера сочетаний компонентов ландшафта и антропогенного воздействия на них, то есть от типов ландшафта. На основе условий рельефа, геологического строения и палеогеографического развития, а также характера почвенного и растительного покрова Э. Варепом выделено в Эстонии (1961) 12 типов ландшафта и изображены их распространение на схематической карте. Другие ландшафтные исследования доказывают, что в Эстонии распространено три основных типа местностей (ландшафтов): тип возвышенных местностей, тип равнинных местностей и тип долинных местностей. Таким образом, при выделении типов местностей прежде всего учитывается рельеф. Измерение вышеупомянутой схемы и вычисление площадей доказывает, что пространственно господствующим является тип равнинных местностей - около 85% от всей территории Эстонии. Равнины - это пространства, где нет заметных возвышенных и вогнутых форм рельефа, то есть таких форм, относительные отметки которых превышают  $\pm 2$  м и средние уклоны склонов 3 или более градусов.

Для характеристики структуры почвенного покрова равнинных сельскохозяйственных ландшафтов, сравнивая карты типов ландшафта и землевладения сельскохозяйственных предприятий, отмечены хозяйства, которые полностью или почти полностью расположены в пределах того или иного типа ландшафта. Территории этих хозяйств являются ключевыми участками, общая площадь которых равна 147315 га. Поскольку болотные равнины лишь отчасти используются в сельскохозяйственном производстве, то ключевые хозяйства отсутствуют.

На ключевых участках по крупномасштабным детальным почвенным картам выделены сочетания почв, измерены площади при помощи квадратной палетки и вычислены средние площади сочетаний. Сочетания почв сгруппированы по степени гидроморфности (автоморфные - А, полугидроморфные - II и гидроморфные - Г) и вычислено процентуальное соотношение этих групп.

Из сочетаний выделены более распространенные (от 3 до 18 общей площадью 21581,2 га) и определены число и средняя площадь ЭПА, а также число ЭПА на 100 га (то есть расчлененность почвенного покрова). В пределах выделенных сочетаний ЭПА сгруппированы по гидроморфности и вычислено их процентуальное соотношение. В каждой группе выделены подгруппы почв по их механическому составу: легкие почвы (1) - гравий, песок, супесь, песок на супеси; средние почвы (2) - легкий и средний суглинки, супесь на суглинке; тяжелые

почвы (3) — тяжелый суглинок, глина, суглинки на глинах; торфяные почвы (4) — мощность торфа более 30 см. Вычислено и процентуальное соотношение подгрупп почв, а также площади остальных ареалов в процентах. Все перечисленные данные представлены в таблице I.

Из приведенной таблицы можно сделать целый ряд выводов, основные из которых следующие:

- 1) моренные, озерно-ледниковые и известняковые равнины занимают около половины территории Эстонии (49,8 %);
- 2) равнины, отличающиеся по морфологическим признакам, отличаются и по структуре почвенного покрова;
- 3) расчлененность почвенного покрова во всех типах характеризуемых равнин — слабая (менее 25 ЭПА на 100 га);
- 4) площади и площадное соотношение сочетаний почв, расчлененность почвенного покрова, средние площади ЭПА и процентуальное соотношение по гидроморфности обусловлены, по-видимому, степенью волнистости равнин. Вообще с увеличением волнистости уменьшаются площади сочетания и различия между гидроморфными группами;
- 5) в сочетаниях соотношения группы почв А, П и Г довольно сложны; заметно, что на моренных, известняковых и задровых равнинах на первом плане стоят автоморфные почвы со средним механическим составом, а на ленточных глинах, прибрежных и озерно-ледниковых равнинах доминируют гидроморфные почвы с разным механическим составом;
- 6) заметно и большое количество так называемых непочвенных ареалов.

В заключение следует сказать, что в пределах агроландшафта почва является самым важным средством производства, наиболее сложным компонентом по использованию, компонентом, требующим всестороннего ухода. Специальными исследованиями выяснены потенциал плодородности и пути повышения плодородия каждого компонента почвенного покрова агроландшафта. На одном поле применяется одинаковая агротехника для выращивания одной культуры, а эффект антропогенного воздействия зависит от гетерогенности почвенного покрова данного поля. Ожидаемый эффект, по-видимому, уменьшается вследствие укрупнения полей, предстоящего провести в будущем.

Природопользование становится все более наукоемким. Поэтому необходимо расширить и углубить также изучение роли структуры почвенного покрова в продуктивности сельскохозяйственного ландшафта.

Данные о структуре почвенности покрова равнины  
районского значения в дачных участках

Имя дачника ..... район	% от террито- рии ЭССР	Общая площадь ключевых учас- тков в га	Число соче- таний почв.	Средняя площадь сочетания	Сочетания по группам в %		
					A	II	Г
1. Юренин	23,2	39223	123	318,8	35,1	26,6	38,1
2. Известниковых	12,1	30115	105	311,8	30,0	21,1	49,0
3. Известнякового -лато	6,9	23858	32	1029,0	25,1	4,4	70,5
4. Дачников	6,6	5310	10	830,0	4,4	15,0	80,6
5. Изяиной-Иедниковых	14,5	35142	187	187,2	3,9	33,6	62,4
6. Дачниковых Клы- нук	4,9	7140	4	1775,0	-	1,9	98,1
7. Дачниковых	5,9	3547	10	354,7	15,0	28,0	57,0

Приложение к таблице I

№	Число сочетаний	Общая площадь сочетаний в га	Число ЭПА	Средняя площадь ЭПА	Число ЭПА на 100 га	
					ЭПА	на 100 га
1	18	4471,8	520	8,6	11,6	
2	9	3223,0	404	8,0	12,5	
3	7	2083,5	254	9,1	12,2	
4	3	1374,7	251	5,5	18,3	
5	11	4476,4	735	6,1	16,4	
6	5	2723,1	230	11,8	8,4	
7	8	3228,7	245	13,2	7,6	

№	I												Прочие ареалы в %
	A						II						
	1	2	3	%	1	2	3	%	1	2	3	4	
1	40,4	4,5	35,4	0,5	26,4	4,5	21,2	-	27,6	4,0	6,0	17,6	5,6
2	40,1	5,0	23,1	12,0	27,1	2,6	14,4	10,1	31,3	5,1	10,9	9,5	1,5
3	58,9	18,1	40,7	0,1	17,3	6,9	10,4	-	23,6	9,6	5,0	8,9	0,2
4	43,8	17,2	21,9	4,8	28,0	24,3	3,1	0,6	25,0	20,3	0,7	1,0	3,2
5	7,4	3,5	3,7	0,2	37,0	9,6	18,7	8,7	50,3	18,6	15,8	13,1	5,3
6	0,3	-	0,2	0,1	9,1	4,9	1,4	2,8	90,5	25,8	27,3	9,4	0,1
7	12,6	7,3	3,2	2,1	19,8	8,3	8,0	3,5	55,8	18,0	7,0	30,8	11,8

## Литература

1. Вареп Э.Ф. Физико-географическое (ландшафтное) районирование Эстонской ССР // Уч. зап. Латв. ун-та. - Рига, 1961. - Т. XXXVII. - С. 349-361.
2. Глазовская М.А. Почвы мира // География почв. - 1973. - 427 с.
3. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. - 1976. - 288 с.
4. Мухин Г.Д. Изучение и географическая характеристика агроландшафтов // Географическая наука в осуществлении Продовольственной программы СССР: Тез. докл. на секции II VIII съезда Географического общества СССР (Киев, окт. 1985). - Л., 1985. - С. 102-103.
5. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. - М., 1972. - 423 с.

## DIE BODENSTRUKTUR DER AGRARLANDSCHAFT

A. Kongo

### Z u s a m m e n f a s s u n g

In der Agrarlandschaft stellt der Boden das wesentlichste Produktionsmittel dar, dem auch äusserer vielseitige Pflege zukommen muss. Die Bedendecke eines Gebietes stellt sich aus verschiedenen Substanzen bzw. Bodenarten zusammen, die unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Die Bodenstruktur wird durch detaillierte Karten der Bodenbeschaffenheit der Produktionsgemeinschaften charakterisiert. Diese weisen auffallend wesentliche Unterschiede des Bodens auf allen zur Betracht gezogenen morphogenetischen Ebenen auf.

Wir kennen die notwendigen agrotechnischen Massnahmen zur Erhebung der Fruchtbarkeit jeder Bodenart. Jedoch gibt die auf einer bestimmten Ackerfläche angewandte einheitliche Agrotechnik wegen der dort vorkommenden Verschiedenheiten der Böden nicht den erhofften Effekt. Der Agrotechnische Effekt verringert sich im Falle der Vergrösserung des Ackerlandes, weil dann die Bodenstruktur verwickelter wird. Es liegt auf der Hand, dass der Erforschung der Bodenstruktur mehr Aufmerksamkeit geschenkt muss.

## КОМПОНЕНТНАЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МЕСТНОСТЕЙ, КАК ОСНОВА ИХ ТИПИЗАЦИИ

И. Арольд

Интересы целесообразного пользования территориями ставят задачу изучить составляющие территории природные системы — природно-территориальные комплексы, т.е. геоконплексы, так как сравнительно однородные условия вещественного состава и структуры геоконплексов создают одинаковые предпосылки для пользования, а также сходные проблемы по охране окружающей среды в геоконплексах.

Проблемы использования геоконплексов, например, в целях планировочной оценки и в качестве основы территориальной планировки неоднократно обсуждались на научных совещаниях по территориальной планировке, а также в печати. Ряд вопросов по пользованию ландшафтами (например, рекреативная нагрузка пользования ландшафтом; проектирование охраняемых ландшафтов и методы их хозяйства; проектные нагрузки построек на геоконплексах и т.д.) являются объектом государственной стандартизации.

Принимать геоконплексы как природное соединение за основу при целесообразном использовании территорий можно только в том случае, если изучены их свойства, в первую очередь структура.

В сходных условиях генезиса и истории палеогеографического развития геоконплексов как целостных систем складываются известный вещественный (минерально-литологический) состав и организация субстрата их поверхности, а также характерные для них географические процессы и сезонный ритм. Они отражаются в структуре конплексов, в известных связях и зависимостях в пределах геоконплексов и в определенных тенденциях природных процессов.

Следует отметить, что из существования в геоконплексе определенных закономерных связей вытекает, что естественное или вызванное человеком изменение одного из компонентов геоконплекса, превышающее некоторые пределы, вызывает изменение всех остальных компонентов, преобразование балансов и связей. Каждое влияние как природное, так и антропогенное обуславливает в пределах геоконплекса соответствующее противодействие, свидетельствующее о том, что возможности природопользования в пределах геоконплекса примерно одинаковы.

Структуру геокомплексов следует рассматривать в двух аспектах:

а) компонентная структура, отражающая связи между отдельными компонентами природы в пределах рассматриваемой системы;

б) морфологическая структура, отражающая состав рассматриваемой единицы из единиц нижних рангов, их взаимосвязи и отношения. Более крупные и сложные комплексы обусловлены совокупностью составляющих их мелких и простых единиц. Номенклатура, размещение и связи последних определяют сущность и внешний вид комплексов высшего ранга.

Предпосылки к пользованию геокомплексами связаны с определенными их типами. Это обстоятельство служит основой для экстраполяции результатов, полученных при изучении одной таксономической единицы на остальные единицы такого же типа. Итак, по методу эталонных или ключевых участков можно с применением карты типологических единиц характеризовать ландшафтное расчленение, предпосылки к природопользованию и требования по уходу за ландшафтом более обширных территорий. Отсюда вытекает необходимость определения типов различных геокомплексов, их классификации и изучения их качеств, в первую очередь, их структуры.

В условиях Эстонской ССР, где т.н. мелкомасштабные исследования ландшафтных компонентов и ландшафтов в основном завершены, представляют интерес морфологические составные части ландшафтов — фашия, урочище и местность. Наибольший интерес в этом ряде заслуживает местность. Она является самой крупной типологической единицей, которая по своим размерам учитывается при территориальной планировке, т.е. она имеет свои проблемы по природопользованию и планировке. Местность — это природно-территориальный комплекс, образованный в пределах одного морфогенетического типа (мезо)-рельефа, охватывая его целиком. Иначе говоря, местность — это самая крупная морфологическая составная часть ландшафта как регионально таксономической единицы, охватывающая урочища и фашии, образованные на известных формах рельефа, которые в свою очередь образовались под влиянием господствующей деятельности определенного природного фактора (материкового льда, моря, ветра, текущих вод, организмов и пр.).

Под генезисом местности подразумеваются в первую очередь пути развития, в ходе которых в процессе аккумуляции образовались или в процессе денудации обнажились верхние

слон земной поверхности и образовались формы рельефа, которые служат основой ландшафтных единиц, т.е. те, на которых началось образование других ландшафтных компонентов, самообразование.

Использование при классификации местностей генезиса рельефа и литологического состава субстрата форм рельефа обусловлено тем обстоятельством, что в приблизительно одинаковых климатических условиях (в местном климате), наблюдаемых в пределах одного ландшафта, именно рельеф и образующиеся отдельные формы его и горные породы являются исходными факторами, определяющими внутриландшафтную дифференциацию, следовательно, и образование различных морфологических единиц (фаций, урочищ, местностей) ландшафта (Бривкалс, 1956; Исаченко, 1961; Leraser, 1963; Арольд, 1974; Arnold, 1979). Определяющая роль форм рельефа перед остальными ландшафтными компонентами (воды, почвенный и растительный покров и др.) вытекает из того, что они определяют характер и качество целого ряда других компонентов и коррелятивно отражают их свойства, т.е. в различных сочетаниях форм рельефа образование местностей как геокомплексов происходит по-разному.

В некоторых случаях развитие на основах с различным генезисом, но с одинаковым субстратом господствующих форм рельефа может происходить "параллельно", т.е. приводить к образованию одинаковых биоценозов. Таковы, например, песчаная морская равнина и флювиогляциальная дельта. Хотя свойства доминантных урочищ у них очень близки, сохраняются в них различия в субдоминантных и прилегающих урочищах (в флювиогляциальных дельтах, например, нет береговых валов и пр.).

Следует еще отметить, что рельеф с его субстратом и формами является самым устойчивым вещественным компонентом ландшафта, и субстратная сторона ландшафтов труднее всего поддается антропогенному преобразованию.

От состава четвертичной толщи рельефа существенно зависят морфология форм рельефа, естественный дренаж грунтов и характер грунтовых вод. Отложения четвертичной толщи у земной поверхности составляют материальную породу почв, они существенно определяют химический состав, аккумуляцию гумуса и плодородие почв. От механического состава почв зависит в большой степени режим увлажнения и тепла, а также микроклимат почвы. Не менее важно их влияние на образование и развитие растительных сообществ. Приповерхностные толщи отложений

служат, как правило, грунтом для фундаментов и оснований инженерного строительства.

Внешняя сторона рельефа выступает в виде форм рельефа. Формы рельефа определяют вариацию климатических условий, обуславливая перераспределение влаги и тепла. От них зависят движение поверхностных и грунтовых вод и миграция химических элементов. Движением поверхностных вод определяются условия смыва и намыва почв, изменение химического состава и увлажненности почвы.

Каждая местность обладает наиболее яркими признаками (характеристикой) в пределах своего так называемого ядрового участка, т.е. на территории, где геоконкомплекс охватывает обширную площадь, на которой действовали один или несколько последовательных рельефообразующих факторов (например, вначале ледниковая аккумуляция, затем морская абразия и т.д.). В большинстве случаев ядровые участки всех видов местностей определяется легко. Холмисто-ложбинный подтип местностей характеризуется, например, присущими этому виду урочищ литологическим свойством и морфологией субстрата, а также закономерным распределением урочищ на выпуклых формах мезорельефа, и иных, образованных в ложбинах или на равнинах. Холмы характеризуются хорошим естественным дренажом, глубоким залеганием грунтовых вод, нисходящим стоком вод, смывом минеральных материалов и господством элювиальных или автоморфных фаций (Исаченко, 1965). Вторая группа местностей, связанных с ложбинными формами рельефа, а также равнинами, получает дополнительный твердый материал намывом влаги и растворенных веществ поверхностными и грунтовыми водами, а иногда и подъемом капиллярных грунтовых вод. В ложбинных урочищах накапливается также холодный воздух. В этих урочищах преобладают суперквальные (гидроморфные) фации, при наличии водоемов и субаквальные (подводные) фации.

Большие трудности в выделении и разграничении местностей встречаются в таких местах, где переход от одной местности к другой происходит медленно, через широкую переходную зону. В последней имеются урочища, характерные для обоих соседних геоконкомплексов, а границы фаций как элементарных геоконкомплексов вырисовываются, как правило, не контрастно. Исходя из сказанного, следует в целях ясности и единого понимания установить для расчленения видов местностей конкретные критерии.

К группе возвышенно-ложбинных относятся те местности, у

которых возвышенные урочища и ложбинные урочища между ними окхватывают более чем 50% площади. Если их доля меньше, то мы имеем дело с холмистой (или грядовой или валовой) равниной. Местности с характером названного равнинного типа рельефа следует рассматривать в качестве морфологического варианта известного вида равнинных местностей. В таком же отношении друг с другом, т.е. в качестве морфологических вариантов местностей следует рассматривать местности с горизонтальным и наклонным рельефом или низкохолмистую, среднехолмистую и высокохолмистую местности в камовых или других видах местностей.

Как урочища, так и местности по морфологической структуре могут быть простые и сложные, монодоминантные, бидоминантные и полбидоминантные. Числом доминантов и их контрастностью определяется гетерогенность или гомогенность геоконплексов, а также динамика комплексов. Местности на территории Эстонии в основном монодоминантные, т.е. преобладают урочища одного вида. Бидоминантные местности встречаются местами, например, в флювиокамовых местностях.

Сравнительно трудно расчленить местности на равнинных территориях, где литологический состав четвертичной толщи медленно изменяется от ядровой зоны одного вида местности в сторону другого. Следует отметить, что признаки перехода в различных типах отложений неодинаковы, т.к. мощность различных типов отложений, определяющих развитие геоконплекса и изолирующих геоконплексы от влияния подстилающих горных пород, неодинакова. Изменения в геоконплексе отражаются довольно четко не только в рельефе, но и в почвенном покрове, который образовался под влиянием множества ландшафтных компонентов. Результаты современных исследований показывают, что в условиях минеральных грунтов для расчленения видов местностей можно ограничиться изучением состава верхних слоев грунтов глубиной до 60 см. Названная глубина учитывается при определении "кипения" почвы и достаточна для произрастания большинства травяных растений. Условия произрастания древесной растительности несколько иные, т.к. корни деревьев проникают глубже.

Природоиспытатели уже давно условились считать болотом переувлажненные участки земли с толщиной торфяной залежи (в естественном состоянии) не менее 30 см. Исходя из того обстоятельства, что имеющиеся карты и прочие результаты исследований руководствуются упомянутой толщиной торфяного слоя,

ее следует принять за основу при определении абсолютных равнин.

По результатам исследований местностей в районах их характерного распространения, в которых изучались эталонные или ключевые участки, а также на основе обработки картографических материалов на материковой территории Эстонской ССР выделено 20 видов местностей.

Отметим, что перечень по содержанию типов местностей (где они именуется типами ландшафта) опубликован в 1961 году Э. Вареном в связи с физико-географическим районированием Эстонской ССР. Выделенные ландшафты 12 типов изображены на мелкомасштабной схеме. Позднее автор внес в свою схему некоторые изменения. В последнем варианте (см. Эст. Сов. Энцикл. - 1970. - Т. II. - С. 67) им выделено 10 типов ландшафтов, частично отличающихся от ранее приведенных. Классификация ландшафтов республики не закончена и к настоящему времени.

Руководствуясь в общем принципами Э. Варена и используя опыт, а также результаты ландшафтных исследований, выполненных в течение последнего десятилетия, нами составлена классификация местностей Эстонской ССР (табл. 1 и 2) и дана покомпонентная структура выделенных 20 видов местностей.

При классификации местностей автор руководствовался приведенными выше исходными положениями, в первую очередь теми, которыми обусловлены образование и внутренняя дифференциация местностей, в частности историей развития, литологией субстрата и особенностями залегания совокупностей форм рельефа. По геологическому развитию можно разделить местности на три типа (табл. 1):

- 1) местности аккумуляционного рельефа;
- 2) местности аккумуляционно-денудационного рельефа;
- 3) местности денудационного рельефа.

В дальнейшем расчленении упомянутых типов местностей целесообразно принять за основу рельеф местностей как внешнюю форму земной поверхности. По этому признаку выделяются следующие подтипы местностей:

- 1) равнинные местности;
- 2) долинные местности;
- 3) возвышенно-ложбинные местности;
- 4) местности уступов.

Из перечисленных подтипов местностей в Эстонской ССР наибольшую площадь занимают равнинные местности (равнины составляют 85% от территории республики), т.к. наша территория на-

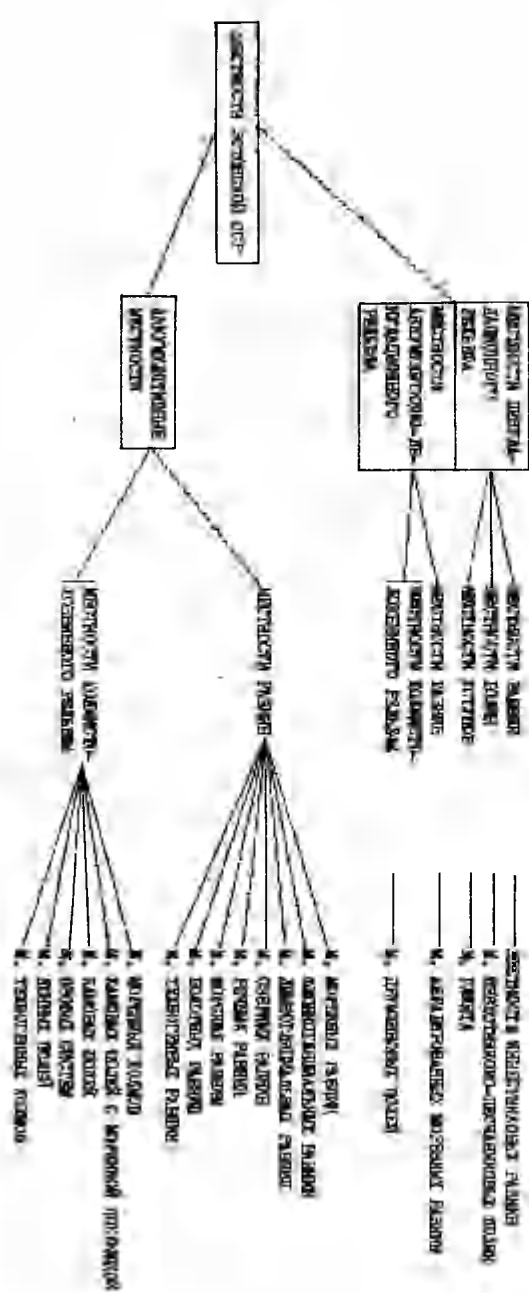


ТАБЛИЦА 1  
 НАИМЕНОВАНИЕ  
 КОДЫ РАСТЕНИЙ  
 КОДЫ РАСТЕНИЙ

№	3	4	5	6	7	
11.	<p>Матрица (по 2-му) состоит из элементов <math>a_{ij}</math> и является квадратной матрицей (в обозначении <math>A</math>)</p> <p>определитель <math>\Delta</math> квадратной матрицы <math>A</math> равен сумме произведений элементов <math>a_{ij}</math> на <math>A_{ij}</math> по строкам или по столбцам.</p> <p>Число <math>\Delta</math> называется определителем матрицы <math>A</math>.</p>	<p>Определитель <math>\Delta</math> квадратной матрицы <math>A</math> равен сумме произведений элементов <math>a_{ij}</math> на <math>A_{ij}</math> по строкам или по столбцам.</p> <p>Число <math>\Delta</math> называется определителем матрицы <math>A</math>.</p>		<p>Здесь определитель <math>\Delta</math> равен сумме произведений элементов <math>a_{ij}</math> на <math>A_{ij}</math> по строкам или по столбцам.</p> <p>Число <math>\Delta</math> называется определителем матрицы <math>A</math>.</p>		
12.	<p>Матрица <math>A</math> называется симметрической, если <math>a_{ij} = a_{ji}</math>.</p> <p>Матрица <math>A</math> называется диагональной, если <math>a_{ij} = 0</math> при <math>i \neq j</math>.</p> <p>Матрица <math>A</math> называется нулевой, если <math>a_{ij} = 0</math> для всех <math>i, j</math>.</p>	<p>Матрица <math>A</math> называется симметрической, если <math>a_{ij} = a_{ji}</math>.</p> <p>Матрица <math>A</math> называется диагональной, если <math>a_{ij} = 0</math> при <math>i \neq j</math>.</p> <p>Матрица <math>A</math> называется нулевой, если <math>a_{ij} = 0</math> для всех <math>i, j</math>.</p>		<p>Здесь определитель <math>\Delta</math> равен сумме произведений элементов <math>a_{ij}</math> на <math>A_{ij}</math> по строкам или по столбцам.</p> <p>Число <math>\Delta</math> называется определителем матрицы <math>A</math>.</p>		

**Таблица 3**  
**Природные предпосылки к использованию**  
**местностей для некоторых планировочных целей**

Типы местностей	Основное использование местностей <sup>+</sup>					
	Полеводство	Скотоводство	Лесоводство	Строительство зданий	Строительство дорог	Рекреация
М. известняковых равнин	+	++	++	+++	+++	
М. известняково-песчаниковых долин			++			
М. песчаниковых равнин			++			+
М. глинта			++			
М. абрадированных моренных равнин	++	+++	+++	++	++	+
М. друмлированных полей	++	+++	+++	++	++	+
М. моренных равнин	+++	+++	+++	+++	+++	+
М. флювиогляциальных равнин	(+)		+	++	+++	++
М. лимногляциальных равнин	++	+++	++	+	+	
М. морских равнин	(+)	++	++	+	+	++
М. озерных равнин		+	+			++
М. речных равнин	++	++	+			+
М. болотных равнин	++	++	+			
М. техногенных равнин			+	+	+	
М. моренных холмов	++	+++	+++	+	+	++
М. камовых полей	+	+	++	+	++	++
М. камовых полей с мор. покрышкой	++	+++	+++	++	++	++
М. озоновых гряд			++			++
М. донных полей						+++
М. техногенных холмов			+			(+)

<sup>+</sup>) Предпосылки к использованию: +++ очень хорошие;  
 ++ хорошие;  
 + удовлетворительные.

ходится на Русской платформе и основная ее часть в ледниковые периоды была областью эксарации (Раукас, 1978), в связи с чем общие черты современного рельефа предопределил древний рельеф. С большей части территории материковый лед отступил без продолжительных остановок, оставляя незначительный моренный покров со слабоволнистой поверхностью.

Равнинность рельефа увеличилась в результате аккумуляции отложений приледниковых озер, покрывавших пониженные части территории республики в конце позднеледникового периода, а в прибрежных районах — отложений нескольких стадий Балтийского моря. В значительной мере рельеф подвергался сглаживанию в результате заболачивания. Болотные равнины составляют в настоящее время 21–22% от территории Эстонии.

Местности с возвышенно-ложбинным рельефом связаны в основном с краевыми зонами возвышенностей и деятельностью материкового льда, а кроме того, еще друмлинами ж в меньшей степени — участками распространения дон и бассейном добычи полезных ископаемых в Северной и Северо-Восточной Эстонии.

В составе некоторых местностей выделены еще подвиды, утывая вещественный состав четвертичной толщи, особенности которого четко отражаются в структуре почвенного покрова и растительных сообществ. Антропогенное влияние (окультуренность, мелиорация и т.д.) на местности будет показано на картах и в плане структурных единиц местностей в качестве модификаций подвидов местностей.

По результатам исследований ядровых зон местностей и по компонентным ландшафтными картам составлен первоначальный вариант карты местностей Эстонской ССР в масштабе 1:200000. Во многих местах она требует еще уточнения по данным полевых исследований.

## Литература

- Арольд И.А. Исследование природных условий и ресурсов административного района для районных планировок: Автореф. дис. канд. геогр. наук. - Тарту, 1974. - 55 с.
- Бришваля К.К. Проект качественной оценки земель Латвийской ССР // Почвоведение - 1956, № 6. - С. 576-584.
- Вареп Э.Ф. Физико-географическое (ландшафтное) районирование Эстонской ССР // Труды четвертого Всесоюзного совещания по ландшафтоведению: Уч. зап. Латв. ун-та. - Рига, 1961. - Т. XXXVII. - С. 349 - 361.
- Исаченко А.Г. Физико-географическое картирование // Ландшафтная съемка и составление ландшафтных карт. - Л., 1961. - Ч. III. - 268 с.
- Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. - М., 1965. - 327 с.
- Раукас А.В. Плейстоценовые отложения Эстонской ССР. - Таллин, 1978. - 310 с.
- Arold I. Naanja kõrgustiku geomorfoloogias ja maastikest Eesti NSV saarkõrgustike ja järvenõgude kujunemine. - Tallinn, 1979. - Lk. 66-87.
- Lepasepp V. Maastikulise printsiibi rakendamisest maafondi uurimisel // Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat 1962. - Tallinn, 1963. - Lk. 59-76.

### THE CLASSIFICATION OF LANDSCAPE UNITS ON THE BASIS OF THEIR COMPONENTAL AND MORPHOLOGICAL STRUCTURE

I. Arold

#### S u m m a r y

The morphology and material structure of relief forms, determined by their genesis in similar climatic conditions are of the main importance in the formation of landscape units. There are distinguished on the basis of morphogenetic types of relief 20 species of localities in Estonia.

## РОЛЬ ЭКОТОНОВ В ЛАНДШАФТЕ

Ю. Ягомяги, М. Кюльвик, Ю. Мандер

### Введение в проблематику

С точки зрения практического ухода за ландшафтом мы имеем в обстановке две противоположные тенденции. С одной стороны, происходит везде уменьшение, раздробление и инсультация более естественных экосистем, что до определенного уровня влечет за собой рост значения экотон в ландшафте. С другой стороны, обширное развитие промышленности, сельского и лесного хозяйства, мелиорации обуславливает потерю исторически образованного богатства экотон, то есть обилия деталей и уютность ландшафта. В принципе эти противоположно действующие тенденции до сих пор в основном ландшафтно-экологически не осознаны. Такими проявляются они и в Эстонии, особенно вследствие концентрации населения, сплошной мелиорации, механизации сельского хозяйства тяжелой техникой и вырубкой или облесением обширных территорий (рис. I).

Несмотря на вышесказанное в планировании ландшафтов все больше обращается внимание на экотон — таким образом считается необходимым сохранить и разнообразить существующие граничные структуры. Так, в сельском хозяйстве и городском строительстве проектируют экологические буферные полосы, "коридоры", "переходные ступени" и "убежища", в лесном хозяйстве разнообразят мозаику лесных участков разным возрастом и составом. Предполагается, что сознательным образованием "граничных" структур можно в ландшафтном пространстве оптимизировать потоки материи, энергии и генетической информации.

Исходящее из этой концепции сознательное использование экотон при формировании ландшафтов находит применение при все более обширных (высшего ранга) территориальных системах.

На экотоне как на участке соприкосновения разных экосистем был сосредоточен интерес экологов как с теоретической, так и с практической точки зрения. Функционирование экотон на разных уровнях экосистем, в разных экологических условиях, связь между разными экологическими и таксономическими группами и экотонами и влияние последних на разные экофакторы — это некоторые из самых интересных теоретических проблем в этой области.

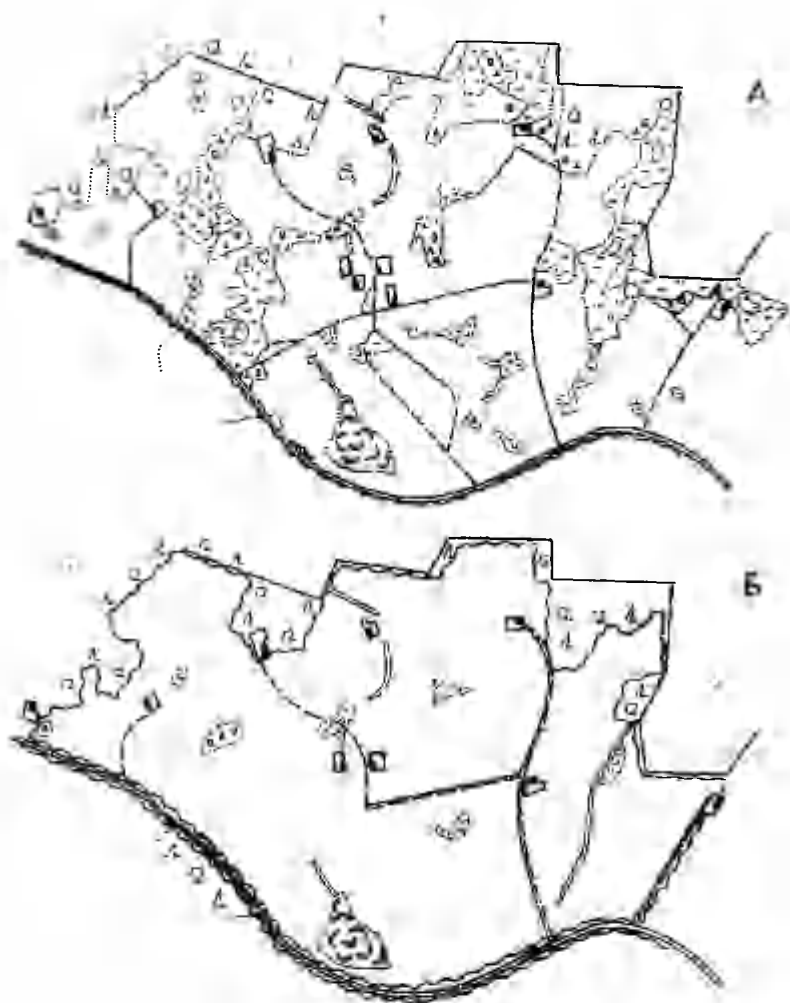


Рис. I. Преобразование экотонов при мелиорации. Моренно-холмистый ландшафт в Южной Эстонии. А - до мелиорации, Б - после мелиорации.

## Понятие разграничения

Проблема экотонов в экологии, в сущности, не нова и сейчас. В начале нашего века в этой области имели место дискуссии на высоком уровне среди таких корифеев науки, как Х. Браун-Бланке, А.К. Каяндер, Ф.Е. Клементс, Г. Э. Дю Рие, Х.А. Гджон, В. Куяла, Н. Кулин, Ю. Пууэзовский, Р. Шарфеттер, В.Н. Сукачев, А.Г. Тансли, В. Вангерин и др. (Dabrowska - Prot et al., 1973).

На самом деле положение хуже - конкретных исследований проведено мало (напр. Gates, Gysel, 1979; Grison, 1982; Scanlan, 1981; Свириденко, 1980; и др.), взгляды современных авторов выражены слишком обобщенно, или напротив, в очень специальном контексте и терминологии. Среди первых исследователей сущности экотона были по нашим данным Б. Э. Ливингстон (Livingston, 1903, с. 51), который описал "участок напряжения" ("zone of tension") между растительными сообществами Мичигана, и позже Ф. Клементс (Clements, 1905). О примечательном явлении - о повышенном видовом разнообразии и плотности популяции - сообщил одним из первых А. Э. Камерон (Cameron, 1917), исследуя распределение насекомых на опушке леса. Основоположником более глубокого понимания и применения этого явления считается американец А. Леопольд (Leopold, 1933), начиная с пятидесятых годов феномен известен как эффект опушки (Barick, 1950).

Интересно, что понятие экотона используют в специальной литературе довольно часто (авторов, использующих это понятие, насчитывается более ста), но при этом без уточнений. В довершение всего многочисленно используют не конкретизированные термины, такие, как граница, граничный участок, переходный участок, участок напряжения, краевой участок, край, граница, участок сплетения, переходная зона, зона поворота и т.д. Кроме того, термином экотон пользуются одинаково для переходов в среде, в растительности, в экосистемах и в других компонентах ландшафтов.

Авторы данной работы определяют экотон как отрезок пространства, или времени, где экологические условия изменяются более резко по сравнению с прилежащими участками и где они вызывают более резкие изменения в составе, размещении и взаимоотношениях биоты. Экотоны наблюдаются на разных уровнях пространства и времени, например, на границах парцеллы, мероценозов, ценозов, ценозных комплексов, ценозных регио-

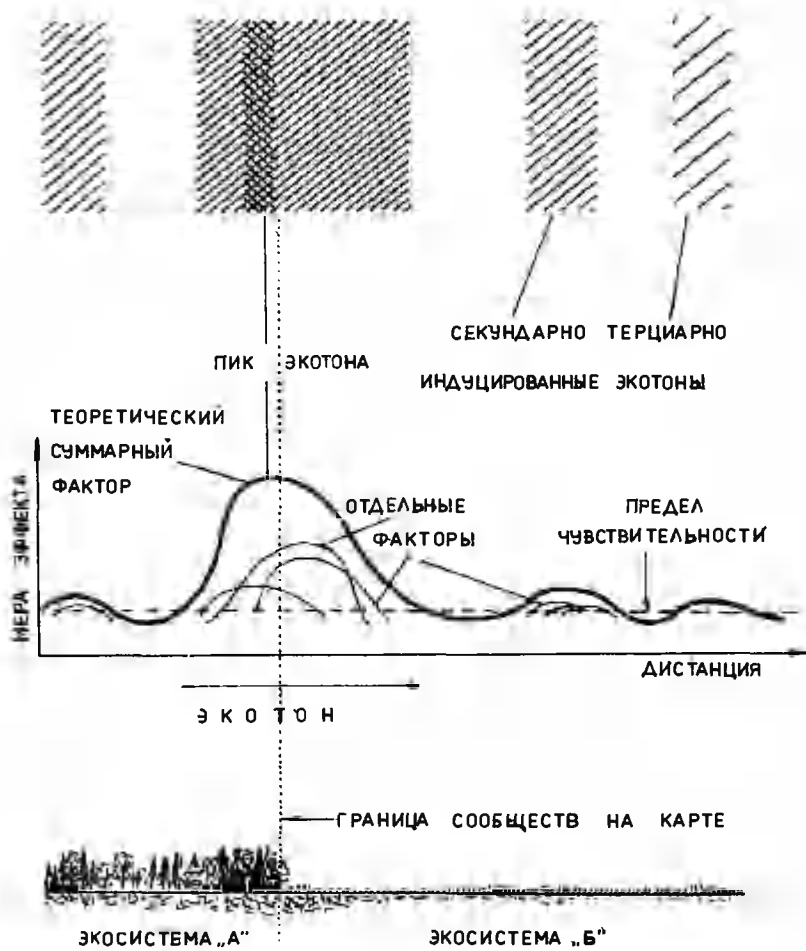


Рис. 2. Принципиальная схема индуцирования экотон.

нов и биомов (ценонов?!) в пространстве и кратковременных, разногодных, сукцессионных и глобально-климатических изменениях во времени. Следуя Э. Маарелю, мы можем рассматривать крайние значения резкости этого изменения как линейные экотоны с одной, и непрерывные экотоны или континуумы – с другой стороны (van der Maarel, 1976). Участок самого резкого изменения интегрального градиента экологических факторов мы можем рассматривать как пик или максимум экотона (рис. 2). Существенно заметить, что пик экотона и граница сообщества не должны совмещаться. Связанных с пиком экотона, но территориально не совпадающих участков влияния экотона можно рассматривать как вторичные, терциарные и т.д. индуцированные экотоны (рис. 2, 3). Их количество и протяжение зависят существенно от деятельности регистрации структуры и факторов и чувствительности слежения. Методически различаем в экотоне как более причинную (климатические, эдафические и др. факторы), так и более результативную – биотическую половину с подразделами (рис. 4). В то же время градиент какого-то одного фактора среды может сильно отличаться от комплекса градиентов (от экотона).

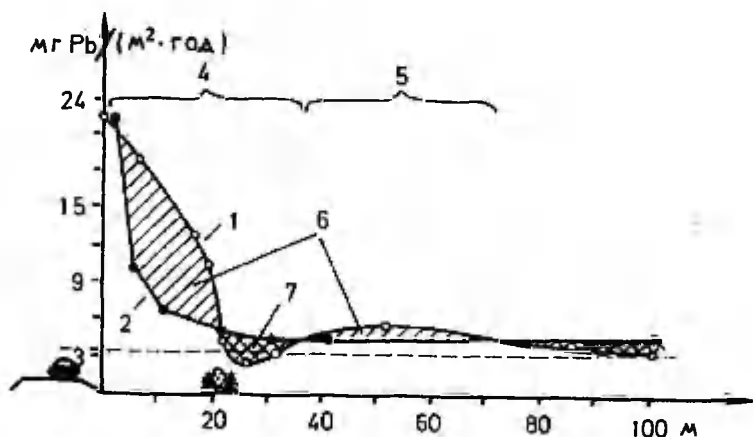


Рис. 3. Пример примарного и вторичного эффекта экотона: влияние придорожной живой изгороди на свинцовое загрязнение.

- 1 – открытое поле, 2 – поле с живой изгородью,  
 3 – пик экотона, 4 – экотон, 5 – вторично индуцированный экотон, 6 – повышенное загрязнение,  
 7 – пониженное загрязнение.



## Эффект опушки в экотонах

Многим по своей примечательности экотон обязан эффекту опушки. Последний является более общим, всему временному пространству свойственным явлением (например, в полупроводниках запирающий слой, фронты контакта холодного-теплого воздуха в атмосфере и др.). Там возникают скачкообразные изменения параметров, резкие градиенты; свойственно существование участка напряжения, где неравновесие создает предпосылки к ряду самоорганизующихся процессов.

Эффект опушки в экологическом смысле проявляется как комплекс изменений разного уровня на природных граничных участках — охватывая как биотический, так и абиотический компоненты. Например, резкое изменение светового режима, почвенной влажности, растительности и др. экофакторов на опушке леса. С эффектом опушки связывается уплотняющее и рассеивающее действие граничных зон, например, чему в геоботанике соответствуют конвергентные и дивергентные границы (van Leeuwen, 1974).

Эффект опушки обнаруживается и на социальном уровне. Краевые территории, границы определяют и облик жизни, деятельность и пространственное поведение человека. В некоторых случаях действуют своеобразными экотонами границы между государствами, между различными культурами землепользования. Можно предполагать, что одним из определяющих факторов формирования населения было расположение у границ разных ландшафтных частей, ландшафтных регионов.

В узком, биоклиматическом смысле под эффектом опушки понимают "нагромождения" биоты на краях экотонов. По нашему мнению, следует различать по отношению к экотонам сессильные и вагильные организмы, так как основы их распределения весьма хорошие.

Качества краевых мероценозов сообществ сессильных организмов (суммарное число особей, общее покрытие, общая биомасса и др.) зависят прежде всего от комбинирований соседних сообществ и от их контрастности. На переходном участке (между двумя лесными типами в одновозрастном лесу) с подобной пространственной структурой сообществ не обязательно выявится нагромождение биоты, хотя граница может быть дискретной, и видовой состав может существенно измениться. Если прилегающие сообщества не могут из-за более узкой нормы

реакции заселять пограничные зоны с возникшими там условиями, то там образуются специфические экотонные подсообщества (кустарниковая кайма на опушке леса или тростниковый воротник на краю озера). Последние работают буферами и подавляют влияние резкого изменения градиентов среды. Свойства таких экотонных (меро-) ценозов могут значительно отличаться от прилегающих основных сообществ.

Отношения к опушке вагильной биоты можно охарактеризовать как 4-слойные, где определяющим (у сессильной отсутствующий) в эффекте опушки является третий слой:

первый слой: не взаимодействующая с опушкой, в отношении опушки индифферентная биота,

второй слой: случайные особи из обоих прилегающих сообществ,

третий слой: биота, активно пользующаяся более чем одним пограничным сообществом,

четвертый слой: биота, специализированная на опушке.

Описанная конструкция является относительной и определяется каждый раз конкретным масштабом пространства и времени. Сверхуровневая биота первого "слоя" (охват движения которой превышает значительно средние размеры рассматриваемых экотонов) может принадлежать и ко второму или третьему "слою". Аналогично для биоты четвертого слоя могут обнаружиться экотоны более низкого уровня, в которых они окажутся биотой первого, второго или третьего "слоев". Иногда численность видов или особей может повышаться и за счет т.н. дамбового эффекта, это означает наблюдаемое в некоторых случаях повышение плотности населения за мощными экотонами или механическими барьерами.

#### Устройство экотонов как метод ухода за ландшафтом

Функции экотонов можно подразделить на две группы. Во-первых, экотоны в культурных ландшафтах увеличивают многообразие и численность биоты. Прямое действие экотонов происходит через краевой эффект — чем больше площадь экотонов, тем более многочисленна и богата видами биота. Однако чрезмерное увеличение длины экотонов приводит к раздроблению сообществ. В результате этого биотопы теряют свои характерные черты. Например наименьшая площадь климаксовых сооб-

ществ на возвышенности Пандивере составляет около 0,5 га (рис. 5).

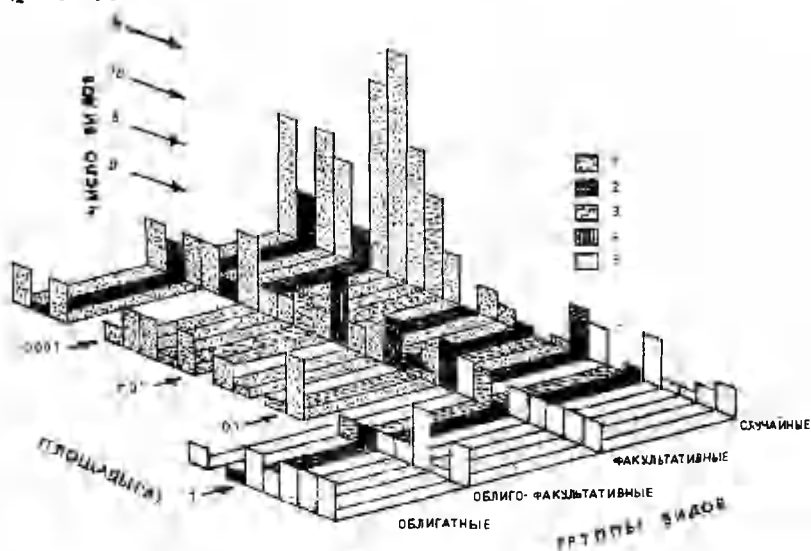


Рис. 5. Площадной градиент лесных участков как определитель сильвицитности растительности.

Виды растений разделены на 4 группы сильвицитности. 25 полос соответствуют растительным сообществам на 25 лесных участках. Сообщества пронумерованы (1...5) по ряду сукцессионной зрелости.

Наряду с непосредственным эффектом опушки многообразие биоты в культурных ландшафтах увеличивается благодаря прочим, связанным с ним эффектам. Например, канавы и их прибрежные зоны, края леса или поля и т.д. используются как коридоры активного передвижения и пассивного распространения (эффект коридора); разбросанные природные и полуприродные структуры (отдельные деревья, кусты, заросли и т.д.) используются как места укрытия и отдыха при миграции (эффект ступеней); хорошо заметные краевые структуры используются как ориентиры при передвижении (эффект маяка) и т.д. Сообщества экотонов, которые являются молодыми и высокопродуктивными этапами вторичной сукцессии, имеют особое значение как самостоятельные, отделенные от естественных "соприкасающихся сообществ" полосные и точечные структуры.

Во-вторых, возможно изменение круговорота веществ в ландшафтных экосистемах путем создания экотонов. Например,

полосы леса, берега водоемов, небольшие участки леса и мозаичные оюмки леса и связанные с ним экотоны обладают более быстрым круговоротом веществ (напр., большая биопродукция и аккумуляция) по сравнению с упрощенными агроценозами, что позволяет планомерно перераспределять вещество и энергию. Краевому эффекту свойственно резкое, экспоненциальное изменение градиентов круговоротов. Это проявляется, в частности, в большей способности связывать биогены и органические соединения (рис. 6). Молодые стадии сукцессии (напр., полосы ольшаника), обладая высокой продуктивностью, большой площадью листьев и активными почвенными биопроцессами, связывают эффективно разные вещества, не допуская их проникновения в водоемы и грунтовые воды. Эти вещества связываются механически или биохимически в растительности или химически в почве или проникают в более глубокие слои почвы; наряду с общеизвестным влиянием на скорость ветра, температуры нижних слоев воздуха и почвы, режим осадков и т.д., имеет значение также тормозящее и рассеивающее влияние экотона на распространение веществ по воздуху. Экотон защищает прилегающие, отделяемые им сообщества. Низкая живая изгородь у дороги увеличивает загрязнение между изгородью и дорогой, но уменьшает его за изгородью. В связи с турбулентностью загрязнение увеличивается на некотором расстоянии от живой изгороди (рис. 3). При авиационной обработке химикатами отводятся от канав потоками воздуха, поднимающимися от растущих на берегу деревьев, вода непосредственно под деревьями практически чиста (рис. 7). Все проявления краевого эффекта такого рода надо учитывать при уходе за ландшафтами и при возможности увеличивать их путем создания и формирования экотонов (рис. 8).

Важно учитывать, что для перераспределения потока энергии вещества и организмов, формирующего свойства культурного ландшафта, не требуются большие площади. Как правило, достаточно правильного формирования экотонов. Уравновешивание круговорота веществ, особенно относительно подвижных элементов, может производиться далекими сообществами за пределами создаваемого культурного ландшафта. Короче говоря, в практической ландшафтной экологии важны края, а не площади.

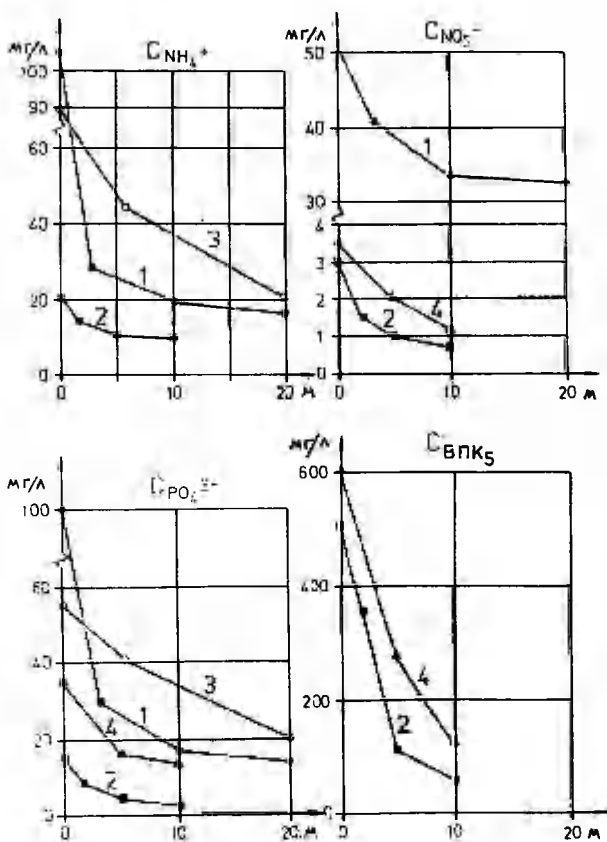


Рис. 6. Эффект опушки как преобразователь круговорота веществ. Экспоненциальное понижение содержания некоторых биогеоенов и уровня БПК<sub>5</sub> при фильтрации загрязненного поверхностного стока через разные водозащитные полосы.

1...3 - ольшаник, 4 - ивовая заросль.

(Mander, 1985).

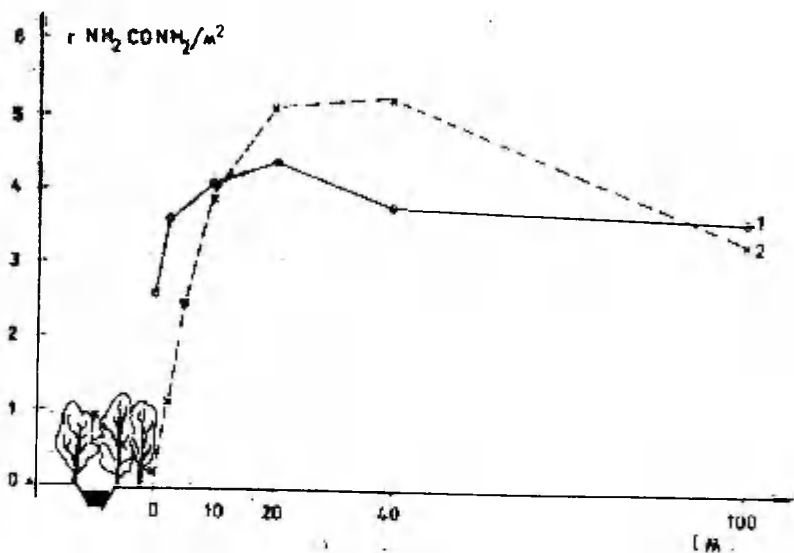


Рис. 7. Водозащитные лесные полосы (ольха высотой 13 - 15м) изменяют рассеяние залегающего карбамида и препятствуют непосредственному загрязнению вод при автхимической обработке полей.

1 - направление ветра в сторону канавы, 2 - ветер от канавы (Mander, 1983).

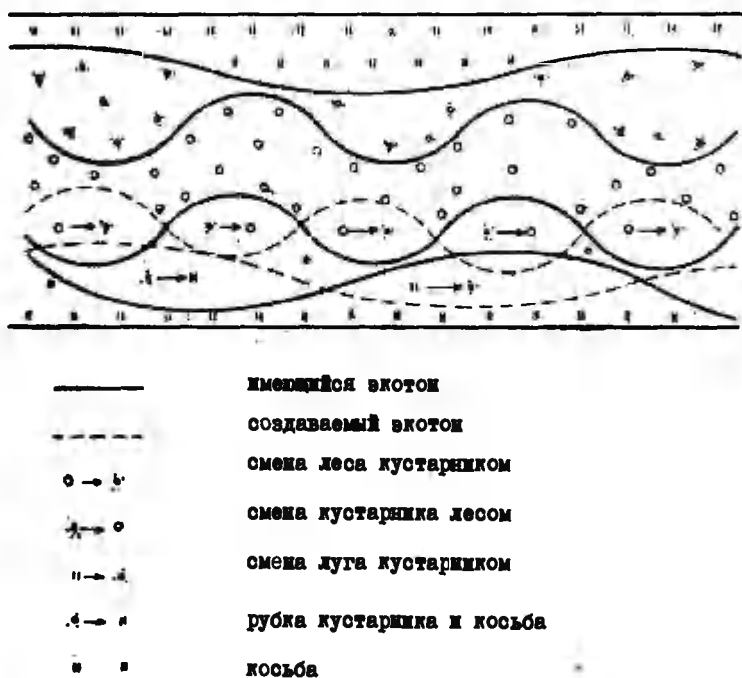


Рис. 8. Схема ухода за защитной лесной полосой, учитывающая качество экотонов (Jagalaigi, 1979).

При неменьшем уходе за лесополосой сдерживается пространственная структура ее в оптимальных пределах, а профилю придается нужный вид. Извилистые границы удлиняют экотон, комбинирование границ разного радиуса увеличивает разнообразие. Рубка и косьба создают сообщества, находящиеся на разной стадии сукцессии. Последние как "временные" частичные экотоны увеличивают способность ландшафта к компенсации.

## Значение экотонов для экологической оценки ландшафтов

Благодаря важной роли экотонов в функционировании экосистем и ландшафтов возможно использование экотонов как критериев оценок прикладного характера. Наиболее распространено использование т.н. краевых индексов, которые учитывают длину краев сообществ на единицу площади исследуемого участка (Chiselin, 1977; Ringler, 1981). В некоторых работах его связывают с известным из лимнологии индексом сложности береговой линии (Patton, 1985; Thomas et al., 1979). Авторы данной работы использовали плотность сети экотонов как критерий оценки разнообразия ландшафтов, называя его краевым индексом (Мандер, 1978; Ягомэги, Мандер, 1982). Данный коэффициент (I) использовался для определения оптимальной сложности разных ландшафтов, а также для сравнения технологических и экологических параметров полей (Jasuchno, Mander, 1984). Краевой индекс как просто определяемый параметр перспективен для планирования ландшафтов и даже для мониторинга. Авторы уже начали проводить работы такого рода (Külvik, 1985).

### Многоуровневые аспекты планирования экотонов и компенсирующих пространств

Экотоны используются для разных целей: при уходе за ландшафтами, их формировании и территориальном планировании на разных уровнях. При этом идея компенсирующих пространств является главной объединяющей концепцией (Jagomägi, 1983), примерно это значение имеет экологический каркас, природный каркас, система геологически важных зон, зоны экологического равновесия, территориальные системы создания экологической стабильности (Нучек и др., 1984), пространства нетронутой природы поляризованного ландшафта (Родман, 1984), зоны экологического предпочтения (ökologische Vorrangbereiche Modrow, 1980).

Авторы придают понятие "компенсация" широкое значение, связывая с компенсирующими пространствами следующие функции:

- аккумуляция вещества и энергии, в первую очередь рассеиваемых человеком,
- принятие и обезвреживание непрямых для окультуренных пространств - загрязненный воздух, вода, а также твердые отходы,
- регенерация и возврат ресурсов,
- предоставление возможности передвижения воздуху, во-

де, живым существам, в том числе человеку,

- быть прибежищем для популяции, сохранять генофонд,
- помогать сохранению важных объектов,
- предоставлять возможность отдыха для людей,
- быть барьером, фильтром, буфером,
- быть каркасом для сформировавшегося в данной местности круговорота вещества и энергии, а также системе расселения.

Таким образом, компенсирование, уравновешивание того, что неизбежно сопровождает человеческую деятельность.

Система компенсирующих пространств, в том числе экотон, может рассматриваться как дополнительная структура или экологическая инфраструктура основных экосистем культурного ландшафта (поля, поселки, леса). Также надо иметь в виду, что компенсирующие пространства вместе с пространствами интенсивной хозяйственной деятельности составляют резко неравновесную (поляризованную) систему. С точки зрения теории синергетики сильно неуравновешенные системы обладают способностью уменьшать энтропию, увеличивать упорядоченность путем саморегуляции, самоорганизации.

С одной стороны, в компенсировании принимают участие территориальные системы, эффективность которых зависит в первую очередь от площади. В практике охраны природы в их состав включаются в первую очередь заповедники, заказники и прочие охраняемые территории. Авторы причисляют, кроме того, к компенсирующим территориям также большую часть лесных земель, сельскохозяйственные земли экстенсивного пользования и побережье моря. С другой стороны, важную компенсирующую роль играют разные полосные структуры - линии, границы, которые, как правило, могут рассматриваться как экотоны разного порядка. Они функционируют как барьер, буфер, а также как путь распространения, гарантируя присутствие компенсирующего элемента, контакт с противоположным полюсом. При этом важна плотность полосных элементов, длина на единицу площади. Плоскость большого масштаба становится линией малого - таким образом, разделение на плоскости и линии относительно. В действительности происходит сплетение разных плоскостей и краев, при этом роль каждого отдельного элемента в формировании среды трудно определить.

При рассмотрении экотон и других компенсирующих пространств надо учитывать их размеры, по которым они сильно различаются. Авторы использовали для сравнения экотон

Уровень	Радиус зоны средней плотности	Закономерности	Вариации размеров и формы объектов	Возраст	Объекты ландшафта
$\Gamma_1$	$2 \dots 4 \cdot 10^4$ км				Самый жар, влажность, Космос; группа городов
$\Gamma_2$	$1 \dots 1,5 \cdot 10^4$ км	Самое			Большая радиация, самый жаркая группа городов
$\Gamma_3$	$3 \dots 5 \cdot 10^3$ км				Географическая специализация район, большая группа объектов
$\Gamma_4$	$1 \dots 1,5 \cdot 10^3$ км	ланд- пейзаж			Условно-жаркая радиация или объектов
$\Gamma_5$	300...500 км				Республики, области, большая группа объектов, расширяется объект расширяется
$\Gamma_6$	100...150 км			Восточная культура	Национальная группа Американи- зации, англоязычные районы, большая группо- вая объектная радиация
$\Gamma_7$	30... 60 км	ланд- пейзаж		Культура Языки и бо- лота окульту- ривания пространств ланд	Американизация, большие группы /5-10/ объектов, многогранная групповая объектная радиация
$\Gamma_8$	10... 15 км				Крупный город, группа объектов /2-3/ км. жар, высокая групповая объектная радиация
$\Gamma$	3... 4 км				
$\Gamma_{10}$	1... 2 км	ланд- пейзаж			Максимальная, высокая, многогранная объект, групповая радиация
$\Gamma_{11}$	300...500 м				Объекты, максимальная объек- тная, часть объектов, объек- тная, самообъектная объек- тная, большая группа
$\Gamma_{12}$	100...200 м				Самая жар, влажность, ад- мив. объекты о окружающей
$\Gamma_{13}$	30... 50 м	ланд- пейзаж		Лесные и кустарничко- вые объекты	Минимальная адмив., группо- вая объектная, малая
$\Gamma_{14}$	10... 20 м			Группы де- рьев и ку- старничков	Часть адмив., квартира
$\Gamma_{15}$	3... 5 м	ланд- пейзаж		Культура асоро- да, ряд ку- стов и деревь- ев, объект за нав. здания ланд, при- брежные по- лосы	Комната, пространство деятельности человека
$\Gamma_{16}$	1... 2 м	ланд- пейзаж		Декоративные объекты	Пространство инди- видуальной деятельности

Рис. 9. Сравнение объектов и объектов антропогенной деятельности на разных иерархических уровнях.

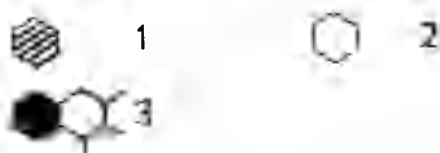
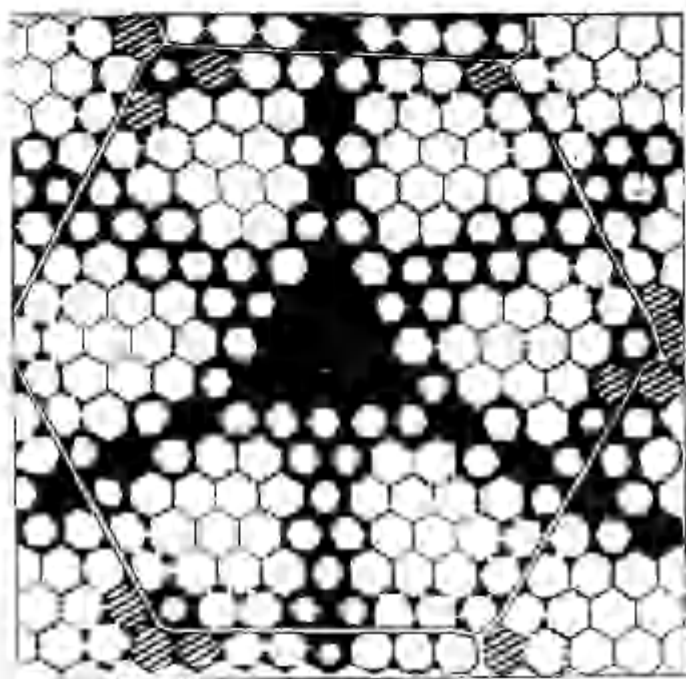
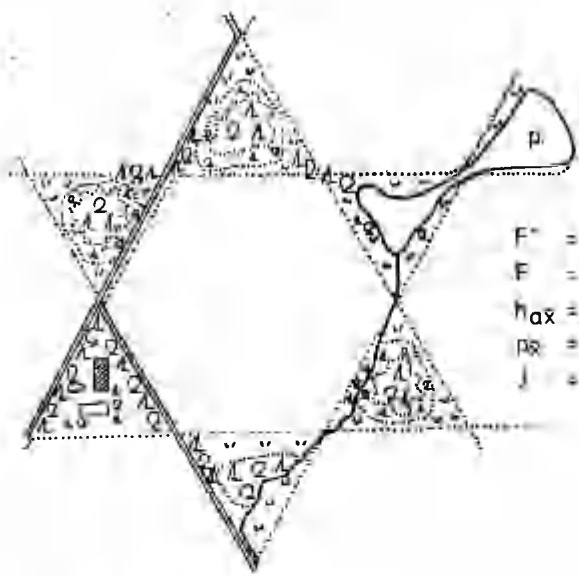
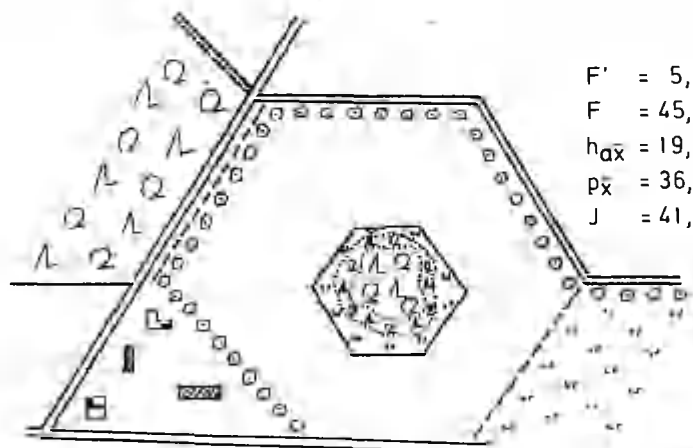


Рис. III. Теоретическая модель функционального зонирования, при которой разнообразие и экологическая стабильность территории обеспечивается наличием сети компенсирующих пространств и большой густотой сети экотонов на разных иерархических уровнях. 1 - расселение, 2 - поле, 3 - компенсирующие элементы (лес, болото, живые изгороди и др.) (Ягомяк, Мандер, 1984).



$F' = 5,0 \text{ га}$   
 $F = 30,0 \text{ га}$   
 $h_{ax} = 13,9 \text{ м/га}$   
 $p_x = 32,0 \text{ м/га}$   
 $J = 48,0 \text{ м/га}$



$F' = 5,0 \text{ га}$   
 $F = 45,0 \text{ га}$   
 $h_{ax} = 19,5 \text{ м/га}$   
 $p_x = 36,3 \text{ м/га}$   
 $J = 41,3 \text{ м/га}$

Рис. II. Шестигранные эквивалентные площади модели функционального зонирования как идеальные поля (Jabuchno, Mander, 1984).

- площадь возделываемой земли
- площадь компенсирующих пространств
- средняя ширина гектара
- относительная длина поворотных полос
- краевой индекс (длина экотонов на единицу площади).

скомпьютеризованную иерархическую систему (рис. 9), где порядок величин определяется так называемой шкалой геопространства.

Идеальное расположение компенсирующих пространств, в том числе и экотон, теоретически можно выразить шестигранными эквивалентными площадями на идеальной модели функционального зонирования (рис. 10). Элементарными площадями являются в данном случае окруженные антропогенными экотонами уголья. Такое расположение дает максимальную плотность сети экотон на единицу используемой площади (рис. 11).

В ЭССР основательно разработана планировка компенсирующих пространств на межхозяйственном уровне в нескольких вариантах (Jagomägi, 1979; Luik, Ranniku, 1980; Jagomägi, 1983; см. рис. 12). Сетевая система учтена при создании территориальной комплексной схемы охраны природы (ГПИ "Эстсельстройпроект" и ВЦИГ). Для некоторых критических с экологической точки зрения районов, напр., Северо-Восточная Эстония, окрестность Таллина, а также некоторых хозяйств и объектов мелiorации разработана детальная система компенсирующих пространств (до приканавных роц и защитных насаждений).

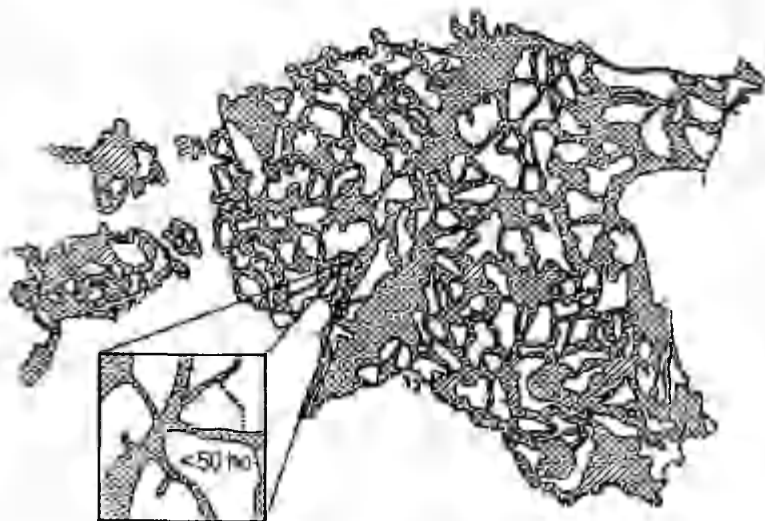


Рис. 12. Генеральная сеть компенсирующих территорий (штрихованные участки) как экологическая инфраструктура Эстонии с детальным фрагментом (см. рис. 11, уровни Г8 - Г9) (Jagomägi, 1983).

## Литература

- Бучек А., Лацина Я., Лав И., Зимова Э. Территориальные системы экологической стабильности ландшафта // Разработка принципов и методов создания информационной системы ландшафта. - Прага, 1984. - С. 60-72.
- Географические науки и районная планировка // Вопросы географии. - М., 1980. - Вып. 113. - С. 109-118.
- Родман Б.Б. Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов // Ресурсы, среда, расселение. - М.: Мысль, 1974. - С. 150-162.
- Свищденко Т.В. К изучению лесо-болотного экотона // Биология: Материалы III региональной научн.-практ. конф. "Молодые ученые и специалисты - народному хозяйству". - Томск: Изд-во Том. ун-та 1980. - С. 36-37.
- Мандер Ю. Возможный метод определения нормативов экологического упрощения мелкоразмерных объектов // Сборник трудов ОНО биолого-географического факультета. - Тарту, 1978. - С. 77-82.
- Ягомяги Ю.Э., Мандер Ю.Э. Понятие экотона и возможности его использования при оценке территории // Исследование и картографирование ландшафта: Уч. зап. Тарт ун-та. - Тарту. 1982. - Вып. 563. С. 48-62.
- Ягомяги Ю.Э., Мандер Ю.Э. Пространственная структура как фактор оптимизации руральных ландшафтов // Актуальные проблемы охраны, рационального использования и воспроизводства природных ресурсов: Мат. конф. - Минск, 1984. - С. 62-66.
- Barick F.B. The edge effect of lesser vegetation of certain Adirondack forest types with particular reference to deer and grouse // Roosevelt Midlife Bull. - 1959. - Vol. 9. - P. 1-146.
- Cameron A.E. The insect associations of a local environmental complex in the district of Holmes Chapel, Cheshire // Trans. Roy. Soc. Edinburgh. - 1917. - Vol. 52. -P. 37-77.
- Clements F.E. Research methods in ecology. - Lincoln, 1905. - 334 p.
- Dabrowska-Prot E., Luczak J., Wojcik Z. Ecological analysis of two invertebrate groups in the wet alder wood and meadow ecotone // Ecologia Polska. - 1973. - Vol. 21, N 49. - P. 753-812.

- Forman R.T.T., Godron M. Patches and structural components for a landscape ecology // Bioscience. - 1981. - Vol. 31, N 10. - P. 733-740.
- Gates J.E., Gysel L.W. Avian nest dispersion and fledging success in field-forest ecotones // Ecology. - 1979. - Vol. 59. - P. 871-883.
- Ghiselin I. Analyzing ecotones to predict biotic productivity // Envir. Management. - 1977. - Vol. 3. - P. 235-238.
- Grison P. Presentation de la Publication "Ecotones des Zones Humides" // Bulletin d'Ecologie. - 1982. - Vol. 13. - P. 101-108.
- Jacuchno V., Mander Ü. Formation of ecological optimal structure of reclaimed agricultural landscapes // Ecologia (ČSSR). - 1984. - Vol. 3, N 2. - P. 139-200.
- Jagomägi J. Servaefekt põllumajandusmaastikus // Põllumajandus ja keskkond. - Tallinn, 1979. - Lk. 88-91.
- Jagomägi J. Ökoloogiliselt tasakaalustatud maa // Eesti Loodus. - 1983, Nr. 4. - Lk. 219-224.
- Külvik M. Väikeste metsasaarte probleemist maastikes // Looduskaitsealaseid töid. - Tartu: TRÜ, 1983. - V.- Lk. 23-25.
- Külvik M. Ühest maastikulise mitmekesisuse hindamise võimalusest // Põllumajandusmaastiku ökoloogia ja ökonomika. - Tallinn-Võru, 1985. - Lk. 146-149.
- Leeuwen C. van. A relation theoretical approach to pattern and process in vegetation // Wentia, - 1966. N 15. - P. 15-32.
- Leopold A. Game Management. - New York: Scribners, 1933. - 481 p.
- Livingston B.E. The distribution of the upland societies of Kent County, Michigan // Bot. Gaz. - 1903. - Vol. 35. - P. 36-55.
- Luik H., Ranniku V. ENSV Loodusvarade kaitse ja säästliku kasutamise skeem / Eesti Maehitusprojekt, 1980.
- Maarel E. van der. On the establishment of plant community boundaries // Ber, Deutsch. Bot. Ges. - 1976. - Bd. 89. - S. 415-443.
- Mader H.-J. Die Verinselung der Landschaft aus tierökologischen Sicht // Natur und Landschaft. - 1980. - Bd. 55, H. 7/8. - S. 91-96.
- Mander Ü. Kaitseribade osatähtsus veekogude hajureostuse vähendamisel // Looduskaitsealaseid töid. - Tartu: TRÜ, 1983. - V. - Lk. 7-18.

- Mander Ü. Veekogude kaitseribade ja -vööndite puhastusefekt // Põllumajandusmaastiku ökoloogia ja ökonoomika. - Tallinn-Võru, 1985. - Lk. 115-118.
- Modrow B. Ökologische Vorrangbereiche, ein Planungsinstrument zur Sicherung natürlicher Ressourcen // Natur und Landschaft. - 1980. - Bd. 55, 7/8. - S. 280-284.
- Patton D.R. A diversity index for quantifying habitat edge // Wildlife Soc. Bull. - 1975. - Vol. 3, N 4. - P. 171-173.
- Ringler A. Schrumpfung und Dispersion von Biotopen // Natur und Landschaft. - 1981. - Bd. 56, H. 2. - S. 39-45.
- Risser P.G., Karr J.R., Forman R.T.T. Landscape Ecology: Directions and Approaches: A. Workshop Held at Allerton Park, Piatt Country, Illinois, Awr., 1983 // Illinois Natural History Survey Special Publication No 2. - Campaign, III.), 1984.
- Scanlan M.J. Biogeography of forest plants in the prairie-forest ecotone in Western Minnesota // Ecol. Studies. - 1981. - Vol. 41. - P. 97-124.

#### THE ROLE OF ECOTONE IN LANDSCAPE

J. Jagomägi, M. Külvik, Ü. Mander

#### S u m m a r y

The most optimal principle for the management of territories under high anthropogenic pressure is operating with landscapal diversity. The diversity of the mosaic should correspond to exploitative intensity. In general higher exploitative intensity calls for the more diversified landscape. The main conception includes a skilful arrangement of the compensative areas (forest, marsh, water-bodies, wasteland, areas of extensive agriculture, and also woodlots, hedgerows, balks). Their task is to soften the influence of economic activities, to lower the load of landscapes and to minimize the conflicts between different utilizers (industry-agriculture-recreation). In the first place the compensative areas transform matter and energy, regenerate resources, function as connectors, barriers, buffers, preserve funds of genes.

The system that is made up of compensative areas and guarantees the functioning of ecosystems on landscape level we determine as an ecological infrastructure. A heterolevel system

of hexagonal territories could be an ideal model of such kind of a structure. The measures of compensative areas can vary from some metres to some kilometres. On the one hand, areas serve as compensators (forest massives, large waterbodies), on the other hand the function is taken by line-structures (hedges, balks, riverside forests). The main operator of compensation is an ecotone-related edge-effect. On the line-structures it becomes evident immediately, on the areas it becomes apparent through the edges and line-structures of the lower rank.

The given theoretical conception has been the basis of the practical planning of landscapes in the Estonian SSR. At first a 4-level ecological infrastructure was elaborated which completes the spontaneously formed network of compensative areas in the republic. The planning of conflict regions (industrial NE-Estonia, hinterland of Tallinn) was composed in more detail. The conception has also been the basis of making up schemes of water-protection of river basins (the Matsalu and Peipsi basins) and in planning melioration objects and settlements. At present the authors are studying the functions of single elements of ecological infrastructure (migration of entomofauna, dynamics of water quality, variation of technological parameters of landscape).

## Содержание

П. Каринг. Оценка биоклиматического потенциала производства ячменя в разных микроклиматических условиях .....	3
P. Karing. The estimate of the bioclimatic potential of barley sowing in different microclimatic conditions. S u m m a r y .....	17
И. Пальм. Связь скорости развития ячменя "Мая" с метеорологическими факторами .....	18
I. Palm. Relationship between the development velocity of the barley "Maja" and meteorological factors. S u m m a r y .....	33
У. Петерсон, Т. Нильсон. Линейные комбинации коэффициентов спектральной яркости для анализа ландшафта .....	34
U. Peterson, T. Nilson. Linear transforms of spectral reflectance data in landscape analysis. S u m m a r y .....	45
Я. Яагус. Статистическая структура и объективный анализ полей осадков в Эстонской ССР .....	46
J. Jaagus. Statistical structure and objective analysis of precipitation fields in Estonian S.S.R. S u m m a r y .....	56
Л.-П. Куллус. Проблемы гидролого-географического исследования водотоков Эстонской ССР .....	57
L.-P. Kullus. Probleme der Hydrologischen-geographischen Untersuchung der Fließgewässer der Estnischen SSR. Z u s a m m e n f a s s u n g .....	63
Д. Роосааре. Изучение динамики геосистем: потоковый подход .....	65
J. Roosaare. Research of dynamics of the geosystems: an mass flows approach. S u m m a r y .....	75
А. Конго. Почвенная структура сельскохозяйственного ландшафта .....	77
A. Kongo. Die Bodenstruktur der Agrarlandschaft. Z u s a m m e n f a s s u n g .....	84

И. Арольд. Компонентная и морфологическая структура местностей как основа их типизации .....	85
I. Arold. The classification of landscape units on the base of their componental and morphological structure. Summary .....	95
Э. Ягомяги, М. Кюльвик, Ю. Мандер. Роль экотонов в ландшафте .....	96
J. Jagomägi, M. Kylvik, U. Mander. The role of ecotone in landscape. Summary .....	117

Ученые записки Тартуского государственного университета.  
Выпуск 808.

СТРУКТУРА И ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ГЕОСИСТЕМ.  
Труды по географии.

На русском языке.

Резюме на английском и немецком языках.

Тартуский государственный университет.

ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Пликооли, 18.

Ответственный редактор А. Конго.

Корректоры И. Пауска, Э. Рахи, Х. Вероман.

Подписано к печати 11.06.1988.

МВ 02712.

Формат 60х90/16.

Бумага писчая.

Машинопись. Ротапринт.

Учетно-издательских листов 7,II. Печатных листов 7,5.

Тираж 400.

Заказ № 296.

Цена 1 руб. 40 коп.

Типография ТГУ, ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Тийги, 78.