

ПРОГНОЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТНО-БОЛОТНЫХ СИСТЕМ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ

П. В. Шведовский*, А. А. Волчек**

*Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

**Отдел проблем Полесья НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Целью любых современных ландшафтно-мелиоративных преобразований является не только интенсивное использование водно-земельных ресурсов и вовлечение в хозяйственную деятельность рекреационных, грибо-ягодных, лесных, медико-биологических, рыбоводческих, флористических, историко-генетических, зверохотнических и других природных ресурсов, но и оптимальная их трансформация, способная обеспечить ресурсовоспроизводящее и саморегулирующееся функционирование природной среды и создать необходимый уровень комфорта жизни.

Так как функционирование ландшафтно-болотных систем является составным компонентом общего процесса развития и формирования окружающей среды, то прогноз их устойчивости (устойчивых состояний) в различных природно-антропогенных состояниях очень важен при активных ландшафтных преобразованиях и особенно для освоения и рационального использования водно-земельных ресурсов.

Сложность и неопределимость транзитивных цепочек причинно-следственных связей любых биосистем как по уровню структур, так и по уровням границ ресурсов, воздействий и степени управляемости требуют при их преобразовании осуществлять выбор решений на базе моделей многокритериальной оптимизации. При этом для больших систем характерно появление двух взаимопротиворечивых принципов: ограниченность возможностей формального анализа, что вынуждает использование эвристических моделей и ненадежность неформальных процедур, которые зачастую являются единственно возможными [1].

Согласно принятой модели генетического формирования геоландшафтных систем [2, 3], любые воздействия на них необходимо рассматривать как внешние воздействия, требующие соответствующей их адаптации. При неспособности адаптироваться к новым условиям ландшафтно-болотные системы становятся неустойчивыми и разрушаются. Границы этих предельных состояний, параметры экологической устойчивости и диапазоны возможных изменений состояний систем, обеспечивающих сохранность саморегулируемого режима функционирования, т. е. без их разрушения в целом, и являются целью данных исследований. Их знание позволяет оптимизировать принципы формирования антропогенных систем любых классов, не приводящие к повышению критических пределов критериев деградации биосистем и ландшафтных комплексов. Количественно эти критерии определяются минимальным соотношением антропогенных и естественных ландшафтов (3:1) и общей площадью заповедников, заказников и национальных парков (13%). Для сравнения в 2003 г. эта площадь не превышала 5,9%, а соотношение составляло 4,1:1.

Критерий устойчивости ландшафтно-болотных систем определен нами из основного уравнения геоморфологических связей, отражающих внутренний цикл возможных преобразований в общей схеме взаимодействия биосистем с внешней средой [2].

Для численного выражения критерия устойчивости, т. е. определения, находится ли биосистема в целом или отдельные ее компоненты в устойчивом или неустойчивом состоянии, анализировалась качественная характеристика их устойчивости, заключающаяся в следующих условиях:

– обеспечивает ли приток воды на болотный массив процесс стока при режиме уровней и влажности соответствующих оптимальному устойчивому состоянию данных растительных сообществ; или же происходит нарушение водного режима, приводящего к полной смене растительных ассоциаций, либо изменению только их структуры;

– соответствует ли величина водообмена между водоемными и болотно-ландшафтными системами нормальной водопропускной способности деятельного горизонта окружающих ландшафтов, вследствие различий их водных балансов;

– соответствуют ли механической прочности, по отношению к внешним механическим воздействиям, структура и флористический состав растительных ассоциаций и их комплексов, определяющих жизненную способность данных растительных сообществ.

Количественное выражение водно-балансового критерия, ограничивающего область устойчивых состояний экосистем, имеет вид [1]:

для систем с высокой озерностью —

$$\left[\frac{\overline{P}_m^{\min} \cdot w_m + \overline{P}_{oz} \cdot w_E}{2,55 \cdot q_{\max}} \right]_{\min} < \frac{l_v + l_n}{w} < \left[\frac{\overline{P}_m^{\max} \cdot w_m + \overline{P}_{oz} \cdot w_E}{2,55 \cdot q_{\min}} \right]_{\max}; \quad (1)$$

для систем с малой озерностью —

$$\frac{\overline{P}_m^{\min}}{2,55 \cdot q_{\max}} < \frac{l_v + l_n}{w} < \frac{\overline{P}_m^{\max}}{2,55 \cdot q_{\min}}, \quad (2)$$

для водоемных систем —

$$w_l \geq (l_2 - l_1), \quad (3)$$

где \overline{P}_m^{\min} , \overline{P}_m^{\max} — максимальное и минимальное внутреннее питание системы, мм/год; w_m и w_E — площади ландшафтных и водоемных систем, км²; w — площадь всей биосистемы в пределах внешних границ, км²; l_v и l_n — длина контуров внутреннего и внешнего дренирования, км; q_{\max} и q_{\min} — максимальная и минимальная горизонтальная проточность системы, л/с с км²; l_1 и l_2 — длина зоны стока и притока в водоемную систему, км; q — средняя прочность деятельного горизонта, л/с с км²; \overline{P} — среднегодовое питание системы, мм/год; \overline{P}_{oz} — внутреннее питание водоемной системы, мм/год.

Контур внешнего дренирования определяется длиной замкнутого контура по границам систем, а контур внешнего дренирования создается внутрисистемными водотоками и водоемами, уровни в которых значительно ниже на 1,0 – 2,0 м среднесезонных уровней грунтовых вод (УГВ) на прилегающих к ним микроландшафтах. В противном случае водоемные системы не являются дренирующими. Инженерно-водохозяйственные системы увеличивают внутренний контур за счет всех элементов (каналы, коллектора, дрены и т. д.), при этом общая длина контура равняется сумме длины всех открытых (l_o) и длине закрытых элементов (l_3), при условии, что снижение УГВ, обусловленное ими, не менее 0,8 м, т. е. $l_v = l_o + 0,5 l_3$.

В длину внешнего контура дренирования необходимо включать и зоны влияния систем.

Длина контуров озерных систем зависит от их типа и определяется по зависимостям

$$l_n = l_2 \cdot H; \quad l_v = l_1 \cdot H, \quad (4)$$

где H — средняя глубина водоема, м.

Расчет граничных значений критериев устойчивости ландшафтно-болотных систем осуществлен нами для граничных значений проточности (1...15 л/с·км), характерных для самых сухих и самых обводненных микроландшафтов и наиболее характерных соотношений ландшафтных и водоемных систем ($\varepsilon=0; 0,11; 0,22; 0,33; 0,5$).

На рис. 1 приведены графики устойчивости ландшафтно-болотных систем для всей территории республики, ориентированные по расчетным профилям. Выделение расчетных профилей определялось степенью заболоченности, озерности, геолого-геогеологическими условиями, расчлененностью рельефа, его базисом и др., т. е. факторами, определяющими условия формирования водного режима. В широтном направлении — это плоскости тяготения водосборов рек Припяти, Немана, Западной Двины, а в долготном — геоморфологические области по направлениям Брест – Гродно (А), Пинск – Барановичи (Б), Слуцк – Минск (В), Могилев – Витебск (Г), Гомель – Горки (Д).

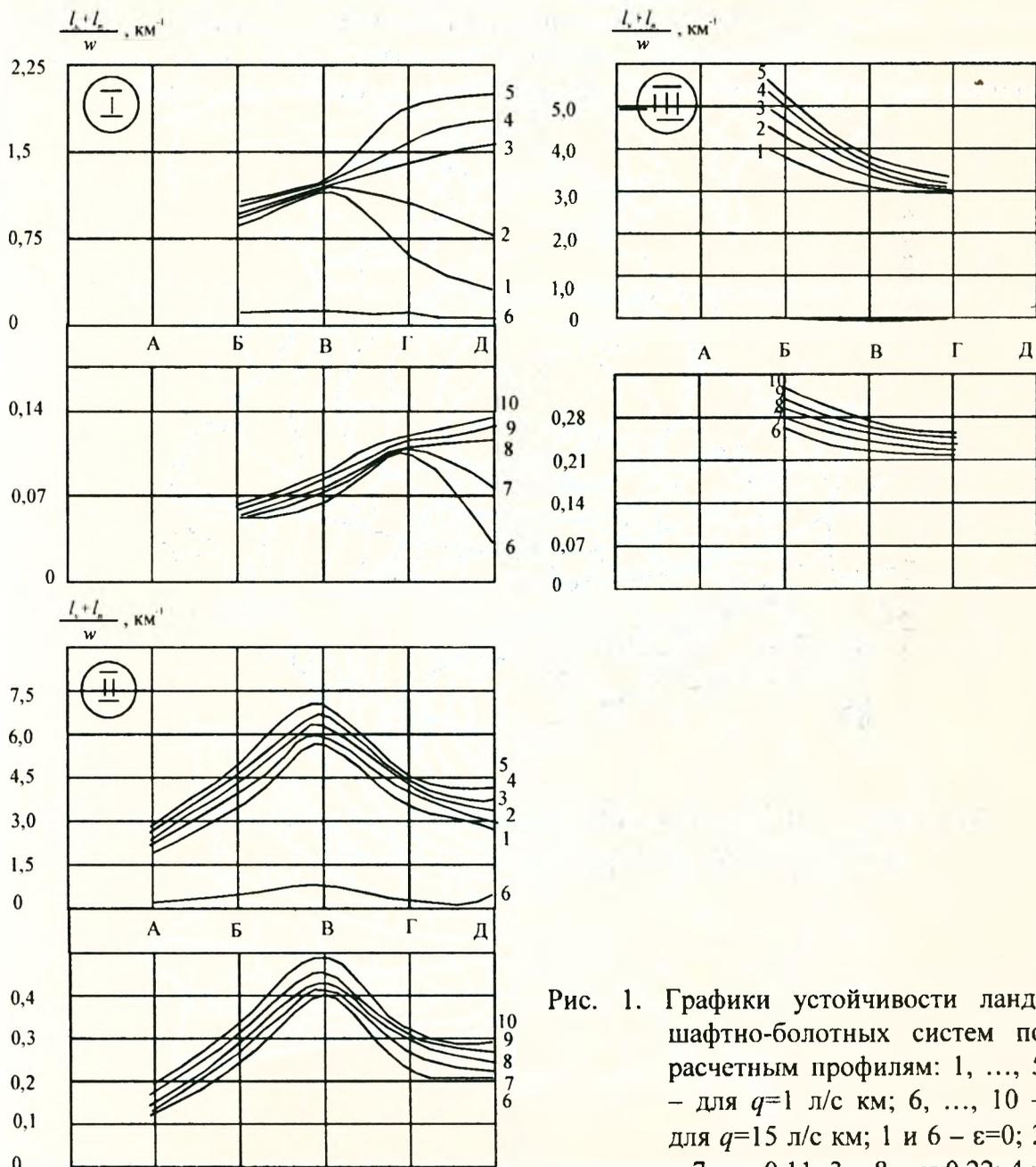


Рис. 1. Графики устойчивости ландшафтно-болотных систем по расчетным профилям: 1, ..., 5 — для $q=1$ л/с км; 6, ..., 10 — для $q=15$ л/с км; 1 и 6 — $\varepsilon=0$; 2 и 7 — $\varepsilon=0,11$; 3 и 8 — $\varepsilon=0,22$; 4 и 9 — $\varepsilon=0,33$; 5 и 10 — $\varepsilon=0,5$.

Эти графики позволяют определить диапазон возможных изменений морфологического коэффициента дренирования $\left[\frac{l_n + l_v}{w} \right]$, при котором последующие изменения не вызовут нарушения устойчивости и распада биосистем.

Например, если морфологический коэффициент равен 1,25, а его максимальное расчетное значение 2,05, то возможно дополнительное внутреннее дренирование на величину 0,8 без риска распада системы.

Для определения количественной оценки и пределов устойчивости конкретных ландшафтно-болотных систем были вычислены значения величин питания основных болотных микроландшафтов и внутриболотных озер, а также определены зависимости атмосферного питания и дефицитов атмосферного питания по широтно-меридиальным направлениям.

Проведенный анализ построенных карт устойчивости болотно-ландшафтных систем (рис. 2, 3, 4 и 5) с позиции современных тенденций преобразования ландшафтов и освоения территорий позволяет отметить, что значительная часть ландшафтно-болотных систем республики имеет высокую степень деградации (таблица 1).

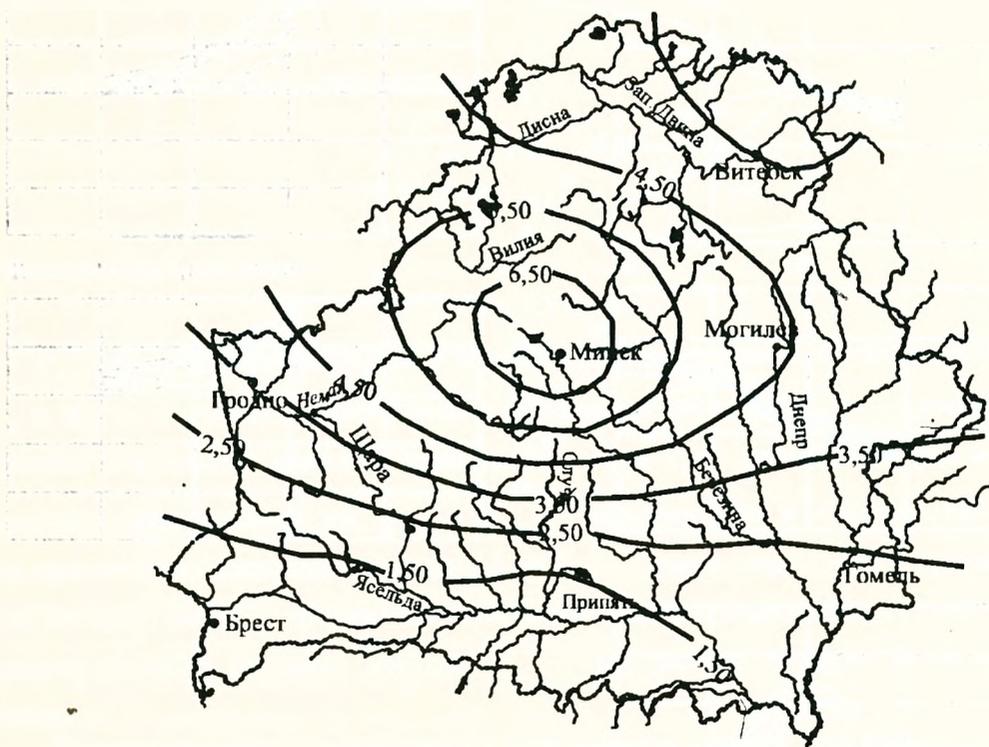


Рис.2. Карта устойчивости слабо обводненных ландшафтно-болотных систем с малой суммарной проточностью ($q=1 \dots 3$ л/с км)*.

*Примечание. На всех картах числа при изолиниях характеризуют диапазон максимально возможных изменений морфологического коэффициента дренирования, не приводящий к нарушению устойчивости и распаду ландшафтно-болотных систем.

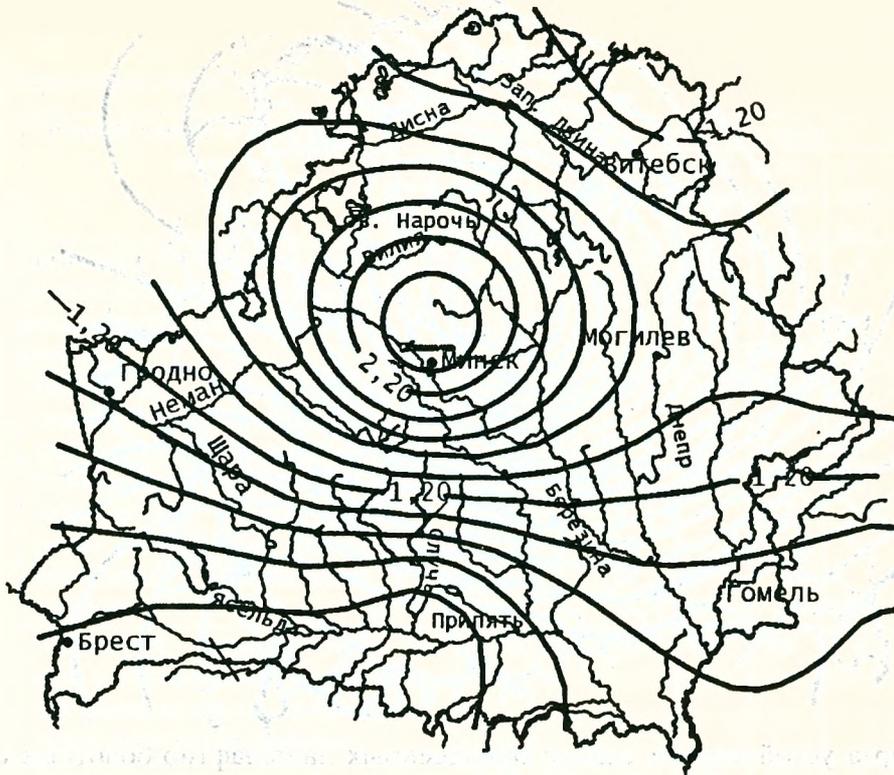


Рис.3. Карта устойчивости средне обводненных ландшафтно-болотных систем со слабой суммарной проточностью ($q=3...5$ л/с км).

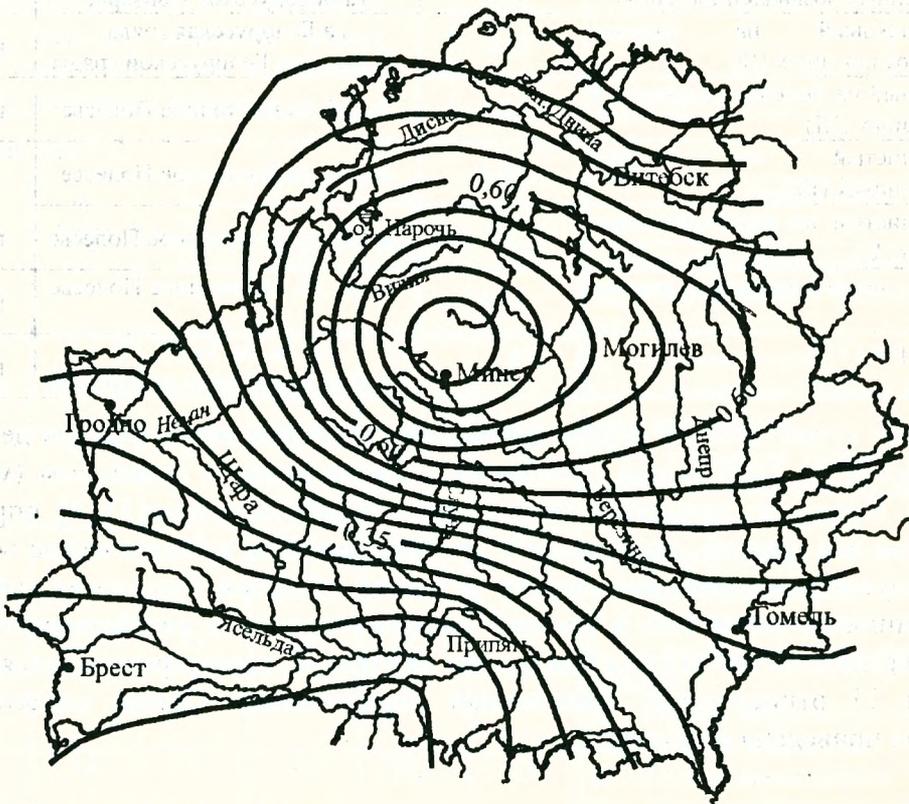


Рис.4. Карта устойчивости средне обводненных ландшафтно-болотных систем с высокой суммарной проточностью ($q=5...10$ л/с км).

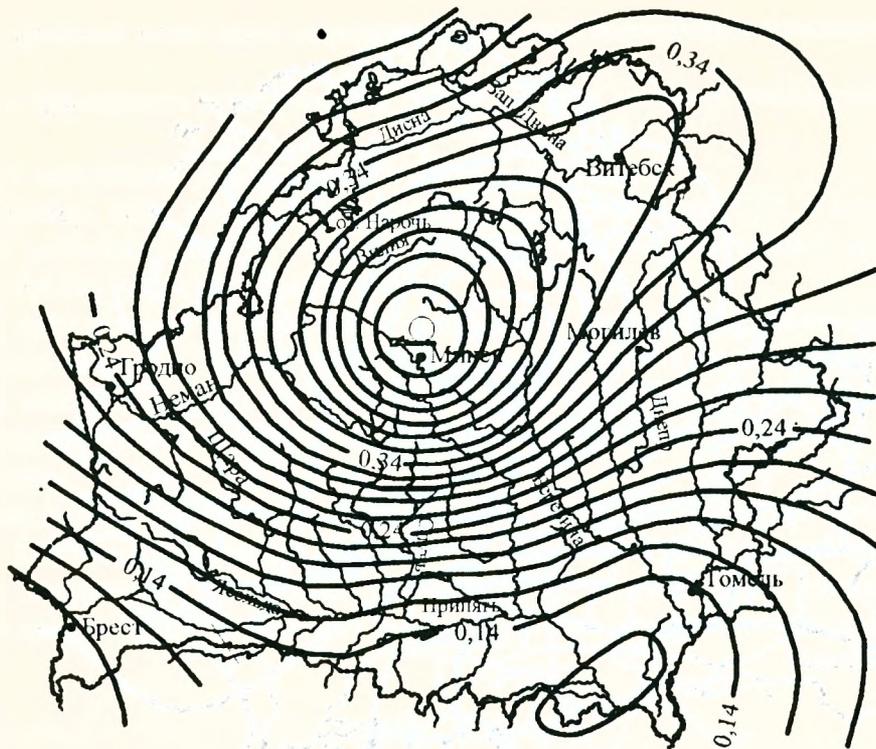


Рис.5. Карта устойчивости сильно обводненных ландшафтно-болотных систем с высокой суммарной проточностью ($q=10...15$ л/с км).

Таблица 1. Общая характеристика устойчивости ландшафтно-болотных систем

Ландшафтно-мелиоративные комплексы (группа)	Общая площадь, %	Зона	Степень деградации
Холмисто-моренных возвышенностей (I)	41,9	1а Белорусское Поозерье	низкая
Болотно-солончаковый на озерно-аллювиальных отложениях (II)	2,2	2а Белорусская гряда 2б Равнина Белорусской гряды	высокая
Болотно-дерновый на морено-зондровых и моренных равнинах (III)	12,6	2а, 2б, 3в Восточное Полесье	высокая
Болотно-подзолистый на водно-ледниковых равнинах (IV)	15,3	2а, 2б, 3в Восточное Полесье	низкая
Болотно-подзолистый на нерасчлененных речных долинах (V)	7,7	2а, 3б, 3в Центральное Полесье	высокая
Аллювиальных террасированных равнин (VI)	17,9	2а, 3а, 3б, 3в Западное Полесье	высокая
Пойм крупных рек (VII)	3,4	1а, 3в, 2а, 3а, 2б, 3б По всей территории республики	высокая

Не менее существенен и вопрос выявления структуры экологических деградационных процессов по глобальным (фоновым), региональным и локальным (местным) компонентам. Исходя из принципов экологического районирования [3, 4], определяющих выделение зон (рельеф, гидрография, дренированность, климатические особенности), подзон (геолого-гидрогеологические условия), областей (литология, заболоченность, залесенность, озерность) и уровней (мелиоративного и хозяйственного освоения), нами определены пятнадцать факторных признаков, характеризующихся 15 независимыми и 27 относительно зависимыми переменными. Общая характеристика расчетных зон приведена в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики зон

Зона	Рельеф, климат и геоморфология	Климатические характеристики							h, м	H, м
		$k_{увл}$	$k_{тепл}$	$O_{ос}$, мм	H_c^M , мм	I_c^B , мм	$СП_1$, мм	C л/с км ²		
3а Западное Полесье	Низинный, с участками мелкохолмистого; равнины и долины рек; теплый, умеренно увлажненный	0,72	1,12	670	550	480	40	4	<3	<25
3б Центральное Полесье	Низинный, заболоченный, теплый, умеренно увлажненный; аллювиальные равнины	0,91	1,06	670	470	460	35	5	<3	<10
3в Восточное Полесье	Низинный, с участками среднехолмистого; теплый, умеренно увлажненный; водноледниковые и аллювиальные равнины	0,9	1,07	620	570	470	25	4	<3	<75
2а Белорусская гряда	Холмистый; умеренно теплый и увлажненный; моренные возвышенности, гряды и водноледниковые равнины	1,02	0,98	780	580	450	90	6	<5	<50
2б Равнина Белорусской гряды	Равнинно-платообразный; умеренно-теплый и избыточно-увлажненный; моренные возвышенности, гряды и равнины	1,04	0,98	750	580	470	90	5	<5	<30
1а Белорусское Поозерье	Ледниково-аккумулятивный; прохладный, избыточно-влажный; моренные возвышенности, гряды и моренноледниковые равнины	1,15	0,96	770	580	415	100	8	<3	<100

Продолжение табл. 2

Зона	k_f , м/сут	S_b , %	$S_{оз}$, %	S_l , %	$S_{ос}$, %	Примечание
3а Западное Полесье	5,5	28	0,21	23,6	50	$k_{увл}$ — коэффициент увлажненности; $k_{тепл}$ — коэффициент теплообеспеченности;
3б Центральное Полесье	5,5	26	0,23	30,2	40	$O_{ос}$ — годовые осадки; H_c^M — суммарное годовое испарение с сухих ландшафтов;
3в Восточное Полесье	5,5	27	0,3	25,8	30	H_c^B — суммарное годовое испарение с поверхности обводненных ландшафтов
2а Белорусская гряда	3,7	17	1,3	35,4	20	$СП_1$ — подземный сток; C — модуль поверхностного стока; h — мощность зоны аэрации;
2б Равнина Бе- лорусской гряды	3,5	13	1,9	32,7	10	H — глубина эрозионного вреза; k_f — коэффициент фильтрации зоны аэрации;
1а Белорусское Поозерье	1,6	7	3,6	28,1	15	S_b — степень заболоченности; $S_{оз}$ — степень озерности; S_l — степень залесенности; $S_{ос}$ — степень мелиоративной освоенности.

Анализ поверхности тренда аппроксимирующей (дискриминантной) функции позволил выделить линейную поверхность тренда, отражающую глобальную компоненту и полиномиальный тренд региональной компоненты [5].

Результаты анализа по средневзвешенным значениям компонент (составляющих) приведены в таблице 3.

Таблица 3. Степень участия компонентов в деградиционных процессах

Группа ландшафтно-мелиоративных комплексов	Степень участия компонентов в деградиционных процессах, %		
	глобальная (фоновая)	региональная	локальная (местная)
I	25	55	20
II	10	28	62
III	15	30	55
IV	25	50	25
V	8	24	68
VI	18	32	50
VII	12	28	60

Все это требует при теоретическом обосновании, проектировании и практической реализации любых ландшафтно-мелиоративных преобразований рассматривать ландшафтно-болотные системы как минимум в трех аспектах – компоненты окружающей среды, сферы производственной деятельности и незаменимых природных ресурсов. А так как в последние годы ставится цель более полного устранения негативных явлений и процессов, которые в некоторой мере обусловлены массовой гидромелиорацией земель Полесья, то нельзя забывать и тот факт, что деградиация ландшафтно-болотных систем может обуславливаться не только переосушением, но и переувлажнением. Это требует поиска новых способов и методов биовосстановления деградированных ландшафтно-болотных систем независимо от причин, обусловивших деградиацию.

Литература

1. Иванов К. Е. Водобмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 279 с.
2. Вахонин Н. К. Системный подход в экологии больших мелиоративных систем. Сб. научн. трудов БелНИИМиВХ, Мн., 1991. – С. 60 – 77.
3. Шведовский П. В. Исследование динамики эколого-социально-экономических свойств-признаков ландшафтно-мелиоративных преобразований// Тр. Междунар. научно-практической конференции «Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды», Биберах-Брест-Ноттингем, 1998. – С. 40-44.
4. Поляков М. И., Бойко А. Т., Шведовский П. В. Рекультивация земель и охрана природы. Мн.: Ураджай, 1987. – 175 с.
5. Шведовский П. В. Мелиорация и природная среда. Мн.: Ураджай, 1984. –160 с.

The Prognosis of Ecological Stability of Landscape-Bog Systems Functioning in Various Environmental-Anthropogenic States

P.V. Shvedovsky*, A.A. Volchak**

*Brest State Technical University, Brest, Belarus

**Department for Problems of Polesie of National Academy of Sciences of Belarus, Brest

The prognosis of ecological stability of landscape-bog systems functioning in various environmental-anthropogenic states has been presented with the application of stability criteria reflecting the internal cycle of possible transformation in the general scheme of biosystem interaction with the environment. The stability gradients defined in accordance with calculation profiles have been pointed out for the territory of the whole Republic.

The analysis of the stability maps has been carried out in the light of the modern tendencies of landscape transformation and territory exploration. This has resulted in the conclusion that a large part of landscape-bog systems in Belarus has a high degree of degradation.