

УДК 551.4(476)

О.Ф. ЯКУШКО, А.А. НОВИК

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕДНИКОВЫХ ЛОЖБИННЫХ ОЗЕР БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ\*

This article is dedicated to the problems of ecological stability of the Byelorussian Lake District glacial channel lakes. In natural conditions these lakes are rather natural stable, due to the morphometric features. It is hardly to distinguish them from lakes of other genetic types. In condition of intensive human pressures from catchment area the glacial channel lakes have become very vulnerable, because of their morphometric and limnological features. Glacial channel lakes are the important ecological-aesthetical natural resource, they have large recreational potential.

В числе современных экологических проблем лимносистем важное место уделяется вопросам, связанным со степенью их устойчивости к интенсивным антропогенным воздействиям. Под устойчивостью озерных экосистем, которая определяется пределами сохранения их внутренней структуры, понимается способность экосистем к самоочищению при повышенном поступлении биогенных и загрязняющих веществ с водосбора, сохранению современного трофического уровня.

В литературе сформулированы два основных направления рассмотрения проблемы устойчивости лимносистем. Первое основано на биологических показателях, в частности, видовой изменчивости разнообразия и величины биомассы организмов, а также на соотношении продукционно-деструкционных процессов и интенсивности круговорота органического вещества (Макартур, Глазовская, Куприянова, Арманд, Одум, Фолленвайдер, Драбкова) [1-4]. Второе направление, которое условно можно называть географическим, основано на законах морфометрии озерных котловин и связанных с ним термическим и кислородным режимами водоемов. (Мы попытаемся это показать на конкретных примерах.) Географическое понятие устойчивости обозначено в работах ряда лимнологов (Хатчинсон, Шмидт, Якушко, Гущенко, Романов, Базыленко, Гурьянова, Белецкая, Шилькрот) [5-7].

Установлено, что важнейшими индикаторами при анализе нарушений озерной экосистемы служат изменения следующих показателей: гидрохимического (газовый режим, прозрачность, биогенные элементы, окисляемость), биологического (видовой состав и биомасса фитопланктона, влияние высшей водной растительности), а также характера донных отложений (накопление органического вещества). Комплексные исследования, проведенные НИЛ озераведения БГУ и авторами данной статьи на озерах Белорусского Поозерья, выявили, что трансформация устойчивости лимносистем тесно связана с генетической принадлежностью озерных котловин, в частности их морфометрическими особенностями. К числу последних относятся форма котловины; максимальная и средняя глубина озера; коэффициенты глубинности, открытости, удлинненности,

\* Авторы статьи - сотрудники кафедры общего землеведения.

емкости; мощность гипolimниона, а также влияние водосбора (удельный водосбор, условный водообмен, удельная водообменность, иначе говоря, проточность). Факт непосредственного влияния морфометрии котловины на температурный и газовый режимы озер имеет в определении устойчивости большое значение. В специальной литературе эта особенность озер получила определение «эффекта морфометрии» (Хатчинсон, Ветцель, Гуценко, Якушко) [8-10]. Известно, что в озерах зоны смешанных лесов два раза в год (осенью и весной) происходит плотностное вертикальное перемешивание водной массы и более или менее короткие по времени процессы гомотермии и гомоокисигении. После весеннего перемешивания в озерах устанавливается летняя стагнация. Температурный и кислородный режимы водной массы в значительной степени связаны в этот период с ветровым перемешиванием и зависят в основном от характера котловины. В глубоких ложбинных котловинах мощность эпимлиниона незначительна, а в точке максимальной глубины он занимает более половины объема водной массы озера. Аналогичная ситуация складывается и по кислороду, содержание которого в гипolimнионе резко понижается вплоть до полного исчезновения [11].

Представим себе озера с ложбинным (а) и подпрудным (б) типами котловин, с разными морфометрическими показателями глубинности, открытости, средней глубины, удлиненности, емкости и примерно схожим питанием, объемами водной массы и площадями водосборов. На территории Белорусского Поозерья в качестве реально существующих примеров лимносистем с указанными характеристиками можно назвать озера Долгое (а) и Лисно (б) (рис. 1). Ложбинное озеро имеет воронкообразную вытянутую форму котловины, подпрудное - округлую чашеобразную. По естественным гидрохимическим показателям ложбинное озеро обладает признаками олиготрофии: высокой прозрачностью (до 5-6 м), низкой цветностью (около 10 °), рН - около 8, низкой окисляемостью (около 4-6 мг/л), средней минерализацией (200-220 мг/л), отсутствием органических осадков и др. В водоемы обоих типов при возможном балансировании продукции и деструкции поступают биогенные вещества, стимулирующие повышение трофического уровня: увеличение содержания фосфора, биомассы фитопланктона и величины органического вещества.

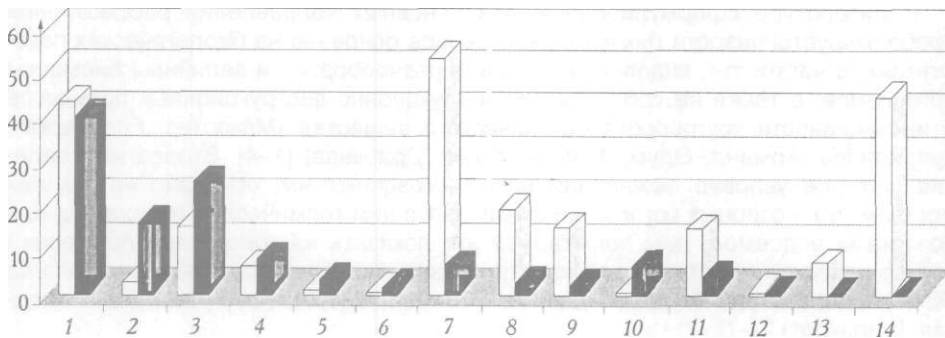


Рис. 1. Морфометрические характеристики оз. Долгое (•) с ложбинным типом котловины и оз. Лисно (•) с подпрудным типом котловины,

1-объем, км³; 2-площадь, км²; 3-длина береговой линии, км; 4-длина, км; 5-ширина макс., км; 6-ширина средн., км; 7-глубина макс., м; 8-глубина средн., м; 9-глубинность; 10-открытость; 11-удлиненность; 12-емкость; 13-удельная водообменность; 14-мощность гипolimниона, м

По всей видимости, в такой ситуации экосистема озера с подпрудным типом котловины (б) окажется более устойчивой, и это связано в первую очередь с его морфометрией. В такой котловине благодаря слабовыраженному либо отсутствующему гипolimниону (оз. Лисно) и мощному эпимлиниону (в подпрудном оз. Нарочь его мощность достигает 12-15 м при глубине 24 м) кислород поступает из атмосферы постоянно. Этому способствует интенсивное ветровое перемешивание водной массы из-за высокого показателя открытости. Соотношение продукционно-деструкционных процессов в таких условиях балансируется, деструкционные процессы могут даже преобладать, и система указанных пока-

зателей водоема сохранит устойчивость (озера Нарочь, Лисно, Дривяты, Гомель). В ложбинном же озере благодаря эффекту морфометрии слабое ветровое перемешивание (особенно в летнюю стагнацию) имеет обратный характер. В оз. Долгом слабому ветровому перемешиванию способствует низкий показатель открытости (0,14), большой коэффициент глубинности (15,1), узкая литораль (около 3 м), а также значительная высота (до 40-50 м) и крутизна (до 35-40°) склонов котловины, служащие дополнительным фактором высокой укрытости. Следовательно, под географической устойчивостью можно понимать количество энергии, необходимой для полного перемешивания всей массы воды и полного выравнивания температуры. Иначе говоря, устойчивость представляет собой количество энергии, необходимой для предотвращения возникновения термической стратификации [8].



Рис. 2. Формы водосборов групп ложбинных озер Белорусского Поозерья

Значительное влияние для водного режима ложбинных озер имеют морфометрические особенности их водосборов, которые повторяют конфигурацию гляциенных рытвин. Эта особенность водосбора оз. Долгое, в отличие от водосборных территорий оз. Лисно, способствует снижению его удельной водообменности (7) и условного водообмена (0,14), удельного водосбора (11,3). Так, при равенстве объемов водных масс подпрудное оз. Лисно, имеющее округлую форму водосбора, характеризуется большей величиной модуля стока (9,95) и соответственно большими показателями условного водообмена (5,65), удельного водосбора (60,03) и низкой удельной водообменности (0,18) (рис. 2).

При значительной доле подземного питания в общем балансе в ложбинных озерах могут развиваться процессы, ха-

рактерные для восстановительной среды и без антропогенного воздействия: исчезновение кислорода в придонных слоях, высокое содержание железа в воде и донных отложениях, естественное образование сероводорода (озера Иодово, Туросы, Гульбиза, Тумское, Малое Камайское, Кайминское).

Мы установили, что в естественном природном состоянии ложбинные озера обладают высокой экологической консервативностью, которая сохранилась в течение всего голоцена (около 10 тыс. лет) [11]. Эти качества сохраняются до тех пор, пока в озеро не поступают загрязняющие и биогенные вещества. С момента интенсивного антропогенного влияния роль морфометрических показателей котловины изменяется с положительной на отрицательную и скорость эвтрофирования ложбинного озера резко увеличивается. Под воздействием антропогенной нагрузки и благодаря эффекту морфометрии лимносистема мезотрофных с признаками олиготрофии глубоких резко стратифицированных ложбинных озер становится неустойчивой. В водной массе мощного гипolimниона и осадках происходит накопление трофогенных веществ в 4-10 раз большее, чем в озерах, не испытывающих антропогенного влияния. В естественном состоянии зона кислородного насыщения ложбинных озер ограничивается верхней частью гипolimниона, где высокое содержание кислорода обуславливает преобладание окислительных реакций и интенсивную минерализацию органического вещества в течение всего года. С глубиной содержание кислорода уменьшается, но сохраняется в пределах 30-40 % насыщения, что является признаком олиготрофии [12]. По мере поступления биогенных и загрязняющих веществ с водосбора озеро перестает справляться с «переработкой» органического вещества. Содержание кислорода в водной массе уменьшается уже в ме-

талимнионе, а в гипolimнионе кислород в период стагнации на дне полностью исчезает. В результате появляются восстановительные условия среды. В это время стратификации кислорода соответствует обратная стратификация углекислого газа, и его количество у дна увеличивается до 20-30 мг/л и более [13, 14]. При этом наблюдается нарушение продукционно-деструкционных процессов, снижение прозрачности (менее 1 м), повышение цветности (до 50-60°), величины pH более 8,5, образование закисного железа (гидротроилита) в осадках, увеличение биогенных элементов. При уменьшении прозрачности снижается распространенность и видовой состав погруженных макрофитов, в фитопланктоне происходит замещение диатомовых водорослей синезелеными, при этом резко возрастает биомасса последних (до 30 г/м<sup>3</sup>). В конечном итоге это ведет к развитию гиперэвтрофного состояния (озера Лесковичи, Круглик, Миорское, Великое, Лядно, Даuble). После прекращения поступления загрязняющих веществ экологическое состояние лимносистемы может несколько улучшиться, но в свое исходное (мезотрофное или олиготрофное) состояние озеро уже не возвращается. При значительной переуглубленности и в условиях замедленного водообмена озера катастрофически быстро «стареют». В них невосполнимо теряются условия обитания реликтовых организмов флоры и фауны (сиговые, *Limnocalanus macrurus* и др.) [15].

На основании перечисленных особенностей ложбинных и подпрудных озер можно выделить основные морфометрические показатели водоемов с потенциально устойчивым и неустойчивым типами лимносистемы (таблица). В сравнении со средне- и неглубокими, значительными по площади озерами (Нарочь, Снуды, Струсто, Дривяты, Лисно) наиболее подверженными экологическим изменениям под воздействием антропогенного фактора являются глубокие и небольшие ложбинные мезотрофные с признаками олиготрофии озера (Волос Северный и Южный, Бобрица, Болдук, Глубля, Вечелье, Ричи, Долгое, Белое, Гиньково) (таблица).

**Морфометрические показатели озер с различными типами лимносистемы**

Тип лимносистемы	Глубинность	Открытость	Доля гипolimниона, %	Удельная водообменность
Потенциально экологически неустойчивая (ложбинные озера)	Более 6	Менее 1	Более 20	Более 1
Потенциально экологически устойчивая (подпрудные, термокарстовые, осадочные озера)	Менее 6	Более 1	Менее 20	Менее 1

С учетом слабой экологической устойчивости ледниковых ложбинных озер Белорусского Поозерья к антропогенному загрязнению перспективным направлением их использования является создание сети рекреационных и охраняемых территорий. Эти уникальные озера, обладая естественной природной устойчивостью, значительными запасами чистой пресной воды, расположенные в живописных лесных ландшафтах, могут быть местами отдыха большого числа туристов, климатическими и рекреационными центрами.

1. Восстановление малых озер / Отв. ред. В.Г. Дабкова, М.Я. Прыткова, О.Ф. Якушко. СПб., 1994.
2. Власов Б.П., Карташевич З.К., Гигевич Г.С. // Антропогенные изменения экосистем малых озер. СПб., 1991. С. 76.
3. Россолимо Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М., 1977.
4. Vollenweider R.A. 11 Report, Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, 1970.
5. Романов В.П., Бойкова С.А., Вежновец Г.Г. и др. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 1988. №3. С. 72.
6. Базиленко Г.М., Гурьянова Л.В. // Там же. 1986. № 3. С. 73.
7. Якушко О.Ф. // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтоведения: Тез. докл. VIII Всесоюз. совещ. по ландшафтоведению (Львов, 1988). Львов, 1988. С. 40.
8. Хатчисон Д. Лимнология. М., 1969.
9. Wetzel R.G. Limnology. New York, 1983.
10. Гущенко Л.О. Структура и функциональная роль сестона в экосистеме озера Севан: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мн., 1988.
11. Якушко О.Ф. Озероведение. Мн., 1981.
12. Якушко О.Ф. Белорусское Поозерье. Мн., 1971.
13. Дабкова В.Г., Сорокин И.Н. Озеро и его водосбор - единая природная система. Л., 1979.

14. Озера Белоруссии: Справ. / Под ред. О.Ф. Якушко. Мн., 1983.

15. Якушко О.Ф., Новик А.А. //Теоретические и прикладные проблемы современной лимнологии: Сб. ст., посвящ. 30-летию кафедры общ. землеведения и НИЛ озероведения БГУ. Мн., 2003. С. 34.

Поступила в редакцию 01.10.2004.

*Ольга Филипповна Якушко* - доктор географических наук, профессор.

*Алексей Александрович Новик* - ассистент.

УДК 631.459.2: 631.43: 631.445.24

*А.Ф. ЧЕРНЫШ, А.Э. ДУБОВИК*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНО-ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И СЕВЕРНОЙ ПОЧВЕННО-ЭРОЗИОННЫХ ЗОНАХ**

In paper the rating of influence of the factors of creation of water-erosive processes in territory central and northern of soil-erosive zones is given. The degree of effect of a climate, relief of territory, soilformed of breeds and anthropogenous effect on manifestation of water erosion by means of application of methods of a statistical analysis is considered.

Эрозия почв имеет выраженные региональные и локальные черты по степени проявления, соотношению природного и антропогенного процессов и другим характеристикам. Несмотря на то что факторы (природные - первичные и антропогенные - вторичные), вызывающие эрозию и определяющие интенсивность ее проявления, повсеместно одинаковы, их соотношение и сила влияния различаются и изменяются иногда на очень небольших территориях. Основными причинами эрозии почв являются: 1) постоянное сокращение площадей с естественной растительностью, которая обладает высокими почвозащитными свойствами; 2) высокая степень хозяйственной освоенности ландшафтов, вовлекающая в интенсивное использование эрозионноопасные земли; 3) несовершенные формы организации территории в агроландшафтах; 4) нарушение агротехники возделывания сельскохозяйственных культур при несоблюдении почвозащитных мероприятий; 5) неблагоприятное сочетание природных и климатических условий ведения хозяйства.

Развитие эрозионных процессов зависит от совокупного воздействия геоморфологического, климатического, почвенного и антропогенного факторов. Геоморфологический фактор во многом обуславливает интенсивность эрозии, так как от рельефа местности зависят скорость и сила течения потоков воды, концентрация их на определенных площадях и линейных природных границах. Климатический фактор непосредственно влияет на эрозионные процессы через количество осадков и характер их выпадения. Большое значение также имеет характер почвообразующих пород, поскольку почва во многом наследует их свойства и противозерозионную устойчивость. В последнее время все большее значение приобретает антропогенное воздействие, к сожалению, чаще всего оказывающее негативное влияние на процесс эрозии.

На территории Беларуси выделяется три ПЭЗ: Северная (проявление плоскостной и механической водной эрозии), Центральная (проявление плоскостной и глубинной водной, а также частично ветровой эрозии) и Южная (преимущественно ветровая эрозия).

Цель данной работы заключается в оценке факторов формирования водно-эрозионных процессов в Центральной и Северной почвенно-эрозионных зонах (ПЭЗ).

При проведении исследований использовали сравнительно-аналитический метод и метод факторного анализа.

Для определения зависимости между различными показателями, обуславливающими характер и интенсивность водно-эрозионных процессов, применяли коэффициент корреляции (r). Корреляция дает представление о роли различных параметров в развитии водно-эрозионных процессов, однако по коэффи-