

(35,6 %), аллювиально-террасированном в сочетании с пойменным (31,6 %), озерно-аллювиальном (28,2 %), вторичном водно-ледниковом (17,4 %).

Для повышения плодородия этих почв необходим комплекс мероприятий, причем мелиорацию и оптимизацию лучше проводить параллельно.

Мелиорация торфяно-болотных мощных почв низинного типа повышает балл почвенной разновидности до 75, а урожайность возрастает на 26,1 ц/га и составляет 42,6 ц/га.

Оптимизированные торфяно-болотные мощные почвы низинного типа характеризуются наивысшим плодородием и оцениваются 100 баллами, что соответствует расчетной урожайности 56,8 ц/га. Эффективность мелиорации таких почв составляет 313,2 руб./га пашни. Затраты на это мероприятие окупаются за 5,6 лет. Окупаемость оптимизации составляет 5,5 лет (см. табл. 1).

Торфяно-болотные средне- и маломощные почвы низинного типа занимают значительно большие площади в ландшафтах, чем мощные.

Мелиорация и оптимизация торфяно-болотных почв среднемощных низинного типа повышают балл почвенной разновидности с 29 до 100 баллов, что соответствует увеличению урожайности на 40,3 ц/га. В сумме эффективность этих мероприятий составит 483 руб./га угодий. Затраты на гидромелиорацию окупятся в среднем за 5,8 лет, на оптимизацию — 5,1 лет (см. табл. 1).

После мелиорации торфяно-болотных маломощных почв низинного типа качество пашни оценивается в 70, после оптимизации — в 100 баллов. Расчетная урожайность после комплекса мероприятий возрастает на 40,3 ц/га. Дополнительный доход с 1 га пашни составит 483,6 руб. При затратах на мелиорацию 1 га пахотных угодий 1500, 2000 руб. сроки окупаемости будут равны 5,3 и 7,1 годам. Оптимизация таких почв окупится в среднем за 6,2 лет (см. табл. 1). Так как площади почвенных разновидностей под пахотными угодьями различны, эффективность мероприятий, направленных на мелиорацию и оптимизацию, их окупаемость при одних и тех же затратах будут различны по родам ландшафтов (табл. 2).

Данные по прогнозированию эффективности мелиорации и оптимизации могут быть использованы плановыми и проектными организациями при проектировании мероприятий по улучшению сельскохозяйственных угодий и ориентируют на необходимое количество средств для их реализации.

Список литературы

1. Медведев А. Г. Влияние хозяйственной деятельности на природу Белоруссии / Под ред. О. Ф. Якушко, В. С. Аношко. — Минск, 1981. — С. 71.
2. География Белоруссии / Под ред. В. А. Дементьева и др. — Минск, 1977.
3. Использование материалов бонитировки почв для определения эффективности затрат на мелиорацию и оптимизацию / Под ред. А. Г. Медведева. — Минск, 1981.
4. Качественная оценка земель в колхозах и совхозах БССР / Под ред. Т. Н. Кулаковской. — Минск, 1977.

УДК 556.08+556.048

Л. В. ГУРЬЯНОВА, Е. А. ШЫБЕКО, Г. М. БАЗЫЛЕНКО

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕМА ВОДОЕМА

В условиях интенсификации сельского хозяйства назревает необходимость разработки моделей взаимосвязей в системе водосбор — озеро, позволяющих обоснованно регулировать функционирование водных экосистем малых озер с учетом происходящих изменений на водосборах. При этом большое внимание уделяется использованию статистического

аппарата для выявления связей и их характера между абиотическими и биотическими параметрами озер [1—4 и др.] Однако в этом ряду вопросы термического и динамического режимов малых озер, важнейших физических условий самоочищения водоемов, разработаны недостаточно. В связи с этим нами для определения функциональной роли гидродинамических процессов в системе водосбор — озеро, количественной оценки их взаимосвязей с другими компонентами (морфометрическими, гидрохимическими и т. д.) использованы методы множественных корреляций и регрессионных анализов, построена статистическая модель.

Исходным материалом являлись данные комплексных лимнологических обследований 95 разнотипных (согласно классификации [5]) озер Белоруссии, проведенных ОНИЛ озераведения БГУ имени В. И. Ленина летом (июнь-июль) 1967—1980 гг., а также данные БелУГКС за этот период.

Каждый водоем охарактеризован по 31 абиотическому параметру (элементу) в системе водосбор — озеро: 1) площадь водосбора F , км²; 2) облесенность водосбора $л$, %; 3) распаханность водосбора $р$, %; 4) площадь озера, f_0 , км²; 5) средняя глубина $H_{ср}$, м; 6) максимальная глубина H_{max} , м; 7) длина озера L , км; 8) ширина средняя $B_{ср}$, км; 9) длина береговой линии l , км; 10) площадь мелководий $f_{л}$, км²; 11) теплозапас водной массы T , кал/см²; 12) температура поверхности воды t_b , °С; 13) температура придонного слоя в зоне максимальных глубин t_d , °С; 14) средняя температура водной массы $t_{ср}$, °С; 15) средняя температура эпилимниона $t_э$, °С; 16) период водообмена озер d , лет; 17) гидравлическая нагрузка * q_s , м³/м²; 18) работа по проветриванию придонных слоев π , г·см/см²; 19) динамическая нагрузка q_v , м²/м³; 20) стабильность водных масс D_z^T , г·см/см²; 21) толщина эпилимниона $H_э$, м; 22) гидродинамический объем водоема V_q , млн. м³; 23) средняя температура воздуха в месяц обследования t , °С; 24) средняя скорость ветра в месяц обследования v , м/с; 25) прозрачность озера ПР, м; 26) насыщенность O_2 , % **; 27) общая минерализация Σ , мг/л; 28) количество PO_4 , мг/л; 29) количество NH_4 , мг/л; 30) перманганатная окисляемость C , mgO_2/l ; 31) активная реакция воды pH.

В ходе многомерного анализа рассчитана корреляционная матрица 31×31 по программе ПРА-3 [7] на э. в. м. «Минск-32». Между 31 параметром при 5 %-ном уровне значимости установлены 188 корреляционных связей. Наиболее явные корреляции $r \geq 0,70$ выявлены между параметрами, характеризующими морфометрические особенности котловин озер ($H_{ср}$ и H_{max} , f_0 и L , f_0 и $B_{ср}$, f_0 и l , $B_{ср}$ и $f_{л}$, L и l , L и $B_{ср}$, $B_{ср}$ и l), между параметрами термического режима водоемов (t_b и $t_э$, t_d и $t_{ср}$). Все подобные корреляции естественны и очевидны. Наибольший интерес представляют высокие коэффициенты корреляции ($r \geq 0,70$) между параметрами, характеризующими различные компоненты системы водосбор — озеро. Так, $H_{ср}$ и H_{max} (параметры 5 и 6) находятся в положительной корреляции с теплозапасом воды (параметр 11): $r_{5-11}=0,78$, $r_{6-11}=0,63$ и в отрицательной — со средней летней температурой водной массы ($r_{5-14}=-0,75$, $r_{6-14}=-0,84$), температурой придонного слоя ($r_{5-13}=-0,69$, $r_{6-13}=-0,80$). В зависимости от глубины и формы котловины меняется характер вертикального перемешивания и стабильность водных масс. Отрицательный коэффициент корреляции между глубиной (средней, максимальной) и динамической нагрузкой, которая характеризует интенсивность вертикального перемешивания, составляет соответственно $r_{5-19}=-0,71$, $r_{6-19}=-0,75$; положительная связь глубины со стабильностью водных масс, определяемой по работе D_z^T , которую необходимо проделать для равномерного выравнивания

*Расчет показателей динамического режима см. в работе [6].

** Данные по гидрохимии приводятся для придонных слоев воды области максимальных глубин.

температуры без поступления и потерь тепла, оценивается: $r_{5-20}=0,84$, $r_{6-20}=0,91$; средняя ширина озера положительно коррелируется с мощностью эпилимниона в период летней стагнации ($r_{8-21}=0,78$); площадь озера и его средняя ширина взаимосвязаны с работой π ветра и силы тяжести по проветриванию придонных слоев ($r_{4-18}=0,81$, $r_{8-18}=0,83$).

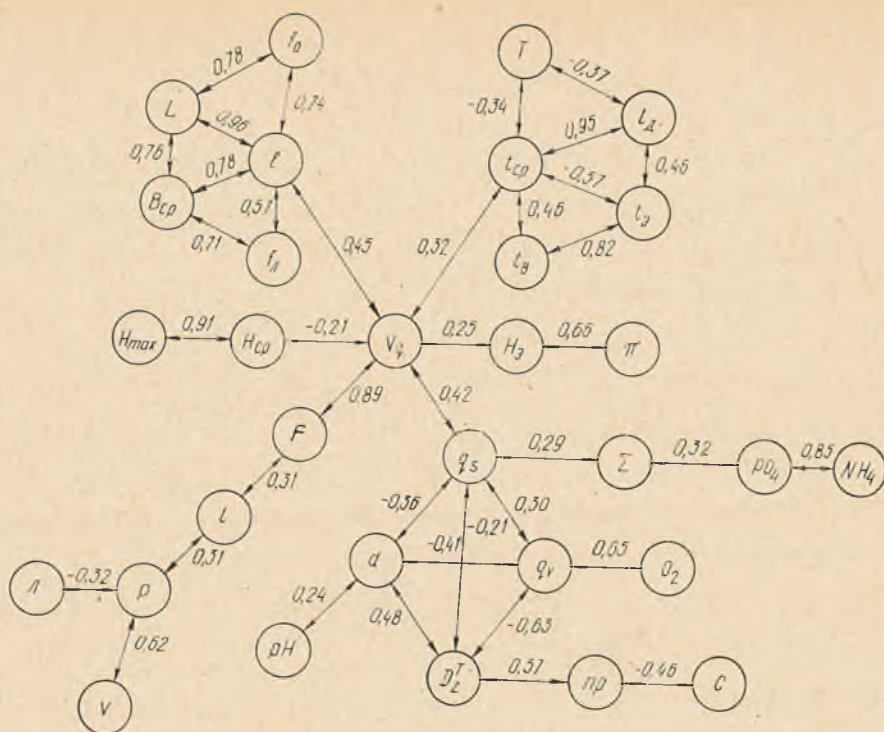
Термические и динамические условия водной массы озера взаимосвязаны, о чем свидетельствуют теснота положительной корреляции между температурой воды (t_d , t_{cp}) и интенсивностью перемешивания ($r_{14-19}=0,87$, $r_{15-19}=0,81$) и соответственно отрицательной — со степенью стратификации ($r_{14-20}=-0,73$, $r_{15-20}=-0,75$).

В корреляционной матрице параметры d , q_s , характеризующие роль горизонтального переноса в функционировании водоемов, имеют значимые связи с площадью водосбора ($r_{16-1}=-0,25$, $r_{17-1}=0,37$), а также со средней глубиной озера $r_{16-5}=0,54$, $r_{17-5}=-0,22$. Выявленные связи показывают, что при равных по величине площадях водосбора период водообмена в больших по объему озерах длительнее, чем в малых. Характер взаимосвязей между параметрами горизонтального (d , q_s) и вертикального (q_v) переноса ($r_{16-19}=-0,41$, $r_{17-19}=0,30$) свидетельствует о том, что в озерах с большим периодом водообмена (слабопроточные) при прочих равных условиях интенсивность перемешивания значительно ниже по сравнению с хорошо проточными озерами, что подтверждает результаты исследований на озерах Браславской группы [6]. При этом стабильность водных масс значительно больше в слабопроточных озерах с малой гидравлической нагрузкой ($r_{16-20}=0,48$, $r_{17-20}=-0,21$).

Анализ корреляционной матрицы показывает, что параметры q_v , D_z^T отражающие характер вертикального водообмена в озерах, тесно связаны с теплозапасом водной массы ($r_{19-11}=-0,63$, $r_{20-11}=0,54$), т. е. в летний период мелководные водоемы с высокой интенсивностью перемешивания, пониженной стабильностью характеризуются малыми величинами теплозапаса и наоборот. Прослеживается также, что в водоемах с высокой интенсивностью вертикального перемешивания прозрачность воды значительно меньше, чем в слабо перемешиваемых озерах ($r_{19-25}=-0,44$, $r_{20-25}=0,57$), а содержание кислорода в придонных слоях соответственно повышенное ($r_{19-26}=0,65$). Кроме того, в озерах с замедленным водообменом прозрачность воды значительно выше, чем в водоемах с большой гидравлической нагрузкой ($r_{16-25}=0,60$, $r_{17-25}=-0,22$); в придонных слоях слабопроточных озер содержание органики меньше ($r_{16-30}=-0,38$), пониженное содержание основных ионов ($r_{17-27}=0,29$), биогенных элементов ($r_{27-28}=0,32$, $r_{28-29}=0,85$), pH пропорциональна периоду водообмена ($r_{16-31}=0,24$). Все это позволяет отметить экологически важную тенденцию: в озерах Белорусского Поозерья при увеличении поступления приточных вод с водосбора на единицу площади озера наблюдается уменьшение прозрачности воды, повышение содержания основных ионов, органики, биогенных элементов в придонных слоях.

Выявленные между параметрами значимые корреляционные связи, их группировка позволяют дать оценку комплексному параметру — гидродинамическому объему водоема (V_q), который рассматривается как количественная мера устойчивости водных объектов к дополнительному поступлению питательных веществ с водосбора [6, 8]. Такая оценка возможна на основе построения и анализа статистической модели. В этой связи параметры объединены по группам, характеризующим: водосбор (параметры 1—3), морфометрию озера (4—10), термический режим (11—15), динамический режим (16—21), метеорологическую обстановку (23—24), гидрохимический режим озера (25—31). Для каждой группы определена схема взаимодействия элементов, составленная с учетом одной, наиболее сильной связи. Алгоритм выявления структуры связей проведен с учетом рекомендаций [9] по следующим этапам.

1. Из строки матрицы, соответствующей параметру A , выбирался наибольший показатель связи r ; взаимосвязь параметров показывалась графически.



Блок-схема статистической модели прогнозирования гидродинамического объема водоема:

цифры — линейные коэффициенты корреляции; стрелки — направления связи; название параметра (в кружке) смотреть в тексте

2. Из строки, соответствующей следующему параметру B , снова выбирался наибольший показатель связи r . При этом использованы пять возможных вариантов: а) B и L — новые параметры, не отобранные ранее, тогда цепь строилась отдельно от предыдущих; б) L — уже отобран ранее в паре с каким-либо другим признаком, а B — нет. B присоединялся к L , образуя цепочку; в) B отобран ранее, а L — нет. L присоединялся к цепи, включающей B ; г) B и L отобраны ранее и входят в разные цепи. Включающие их цепи соединялись в звене $B-L$; д) B и L отобраны ранее и входят в одну и ту же цепь. Все осталось без изменений.

3. Процедура повторяется со следующим по порядку параметром C и так далее до конца. В результате выполнения этапов 1—3 в группах получен набор не связанных между собой ветвящихся цепей подсистем. Далее проведено их объединение в единую систему через показатель V_q с учетом наиболее сильных связей. В тех случаях, когда значимые связи непосредственно с V_q не выявлены, подсистемы различных групп взаимно увязывались с учетом наибольших коэффициентов корреляции. Полученная в итоге всех операций модель (см. рисунок) отчетливо выявляет взаимоотношения между функциональными группами, элементами; числовые характеристики позволяют выделить наиболее значимые связи.

В результате анализа модели выявлены основные компоненты, влияющие на гидродинамический объем водоема, которые по величине тесноты связи располагаются в следующем порядке: водосбор озера (площадь, структура), морфометрия водоема, динамика и термика водной массы. Влияние каждого из компонентов описывается посредством взаимосвязей соответствующих параметров с V_q . Высокая степень связи F с V_q ($r_{1-22}=0,89$) показывает, что напряженность гидродинамических

процессов водной массы в большой мере обуславливается величиной водосборной территории. Со структурой водосбора (соотношение площади лесов и распаханых территорий) связаны скорость ветра, температура воздуха ($r_{3-24}=0,62$; $r_{3-23}=0,31$), которые определяют поступление и распределение тепла. Параметр V_q находится в положительной связи с элементами морфометрической группы: длиной береговой линии ($r_{9-22}=0,45$), площадью озера ($r_{4-22}=0,29$) и мелководий ($r_{10-22}=0,26$), его длиной ($r_{7-22}=0,40$) и шириной ($r_{8-22}=0,36$) и отрицательной — с глубиной водоема ($r_{7-22}=-0,21$). В динамической группе q_s , π , H_3 положительно связаны с V_q ($r_{17-22}=0,42$, $r_{18-22}=0,22$, $r_{21-22}=0,25$), d и D_z^T — отрицательно ($r_{16-22}=-0,25$, $r_{20-22}=-0,27$). В термической группе $t_{ср}$, t_d пропорционально связаны с V_q ($r_{14-22}=0,32$, $r_{13-22}=0,32$) и т. д.

На форму количественной взаимосвязи V_q с наиболее значимыми параметрами системы водосбор — озеро указывает уравнение множественной регрессии: $V_q = 0,67 F + 1,49 q_s - 57,41 q_v + 13,52 t_d - 85,17$. Связь между V_q и F , q_s , q_v , t_d оценивается коэффициентом множественной корреляции $R = 0,92$, который показывает, что на 85 % варьирование параметра V_q линейно связано с варьированием F , q_s , q_v , t_d , а на 15 % изменчивость этих свойств осуществляется взаимно независимо. Из разложения R^2 видно, что на 68 % изменение V_q связано с изменением величины F , на 14 % — t_d , на 6 % — q_s и 4 % — q_v . Полученное уравнение множественной регрессии позволяет прогнозировать величину гидродинамического объема водоема по известным параметрам F , q_s , q_v , t_d .

Список литературы

1. Драбкова В. Г., Сорокин И. Н. Озеро и его водосбор — единая природная система. — Л., 1979.
2. Мязэмэс А. Х. // Гидробиологические исследования. — Тарту. — 1980. — Т. 9 — С. 59.
3. Антропогенное воздействие на малые озера. — Л., 1980.
4. Vollenwieder R. A., Janus L. L. // Mem. Ist. ital. idrobiol.: Dott. M. Marchi. — 1982. — V. 40. — P. 1.
5. Якушко О. Ф. Озероведение: География озер Белоруссии. — Минск, 1981.
6. Гурьянова Л. В., Базыленко Г. М. // Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 2, хим., биол., геогр. — 1985. — № 2. — С. 60.
7. Дукарский О. М., Закурдаев А. Г. Статистический анализ и обработка наблюдений на э. в. м. «Минск-22». — М., 1971.
8. Гурьянова Л. В., Базыленко Г. М. // Актуальные проблемы охраны, рационального использования и воспроизводства природных ресурсов. — Минск. — 1985. — С. 115.
9. Арманд А. Д. Информационные модели природных комплексов. — Л., 1975.

УДК 1911.3:656.6281(091)

Р. И. ОВЧИННИКОВА

ГЕОГРАФИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА БЕЛОРУССИИ В КОНЦЕ XVIII—XIX ВЕКАХ

Воссоединение территории Белоруссии с Россией в конце XVIII века включило Белоруссию в единую всероссийскую транспортную систему, что повлекло за собой прежде всего географическую переориентацию и увеличение общего объема водных транспортных потоков. В результате усилились и расширились меридиональные связи территории Белоруссии с российскими и украинскими губерниями, оживились местные перевозки. В связи с необходимостью сбыта российского зерна и других сельскохозяйственных продуктов за границу возросла транзитная роль белорусских водных путей. Кроме того, пограничные белорусские реки стали играть роль важных стратегических рубежей и выступали как средство связи между западными военными крепостями.

Белоруссия, обладая довольно развитой речной сетью, еще с древнейших времен имела хорошие предпосылки для развития водного транспор-