

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Л.А. Сиренко, Э.Л. Звенигородский

Институт гидробиологии
НАН Украины, г. Киев,
Технический университет,
г. Винница

Как известно, одними из наиболее чувствительных и переменных экологических индикаторов в водных экосистемах являются водные растения и их ландшафтные группировки как представители базового трофического и средообразующего уровня. Поэтому, дистанционный контроль водных растений является одним из наиболее информативных средств для решения задач экологического мониторинга. Данные дистанционного контроля водных растительных ландшафтов получают в результате космической съемки акватории, дополненной данными аэрофотонаблюдений и анализами проб воды. Съемка растительности из космоса проводится преимущественно в диапазонах видимой части спектра (550 нм), второй полосы поглощения хлорофилла (670 нм) и ближней инфракрасной области (800 нм). Затем эти изображения накладываются и формируется синтезированный снимок.

Основные трудности при дешифрировании космических и аэрофотоснимков для решения задач экологического контроля заключаются в недостаточном учете экологических особенностей объекта съемки, что приводит в конечном счете к снижению информативности дешифрированных данных. Поэтому, существует потребность в усовершенствовании процесса дистанционного мониторинга водных объектов за счет создания таких средств компьютерной обработки, которые бы учитывали специфические знания об экологических особенностях объектов съемки, т.е. водных растений и их ландшафтных комплексах.

Экологическими исследованиями обоснована решающая роль ландшафтных комплексов водных растений в формиро-

вании качества воды и биопродуктивности водоемов, что обуславливает необходимость систематического мониторинга их развития, особенностей горизонтального и вертикального распределения растительных сообществ по акватории, сезонных и многолетних смен в их структуре, видового состава и продуктивности растительных сообществ под влиянием природных и антропогенных факторов.

Космические снимки, во-первых, обеспечивают возможность исследования особенностей условий жизнедеятельности растительных сообществ. Во-вторых, они позволяют выделить участки произрастания отдельных видов и вычислить их площади. Кроме того, космические снимки, полученные в различных спектральных диапазонах, выполняют роль реальной картографической основы, которая обеспечивает экстраполяцию данных, полученных в результате наземных наблюдений.

Анализ существующих литературных источников свидетельствуют об общей низкой информативности, сложности и трудоемкости процедур формирования выводов о состоянии экосистем на основе дешифрирования космических снимков. Автоматизация в этой области не дает существенного повышения информативности конечных выводов по причине отсутствия единой методологической базы обработки данных мониторинга, а также недостаточного использования специальных формализованных знаний об экологии растительных сообществ.

Кроме того, существующие методы дешифрирования снимков для природоохранных потребностей базируются на традиционном подходе, в котором принимается за основу бинарное решение о принадлежности объекта к определенной группе. Например, значение некоторой функции принадлежности принимается равным 1, когда растительное сообщество принадлежит к определенному типу ландшафтных комплексов и равно 0 в случае непринадлежности к нему.

Характерной особенностью предложенного нами способа усовершенствования данных дистанционного контроля является использование теории размытых множеств и нечеткой логики [1]. При

таким подходе понятие четкой принадлежности заменяется на понятие размытой принадлежности, т.е. участок растительности может принадлежать одновременно к нескольким типам ландшафтных комплексов с различными степенями принадлежности.

Примем за основу при обработке снимков водной растительности следующую блок-схему (рис.1).



Рис. 1. Блок-схема способа повышения информативности дистанционного контроля ландшафтов водных растений

Снимок на входе блок-схемы представляет собой синтезированное изображение акватории с географически обособленными участками водной растительности. В цифровом виде он подается на вход системы для последующей обработки.

Блок идентификации выполняет функцию выявления типов ландшафтных комплексов водных растений, которые присутствуют на снимке. Процедура идентификации состоит из следующих последовательных этапов (рис.2): формализация параметров снимка; построение матрицы парных отношений; кластерный анализ и классификация элементов изображения; идентификация ландшафтных комплексов.



Рис. 2. Схема этапов блока идентификации

Этап формализации предусматривает представление снимка в виде базы данных, которая содержит идентификаторы каждого участка растительности, список зафиксированных на каждом участке растительных ассоциаций вместе с их площадями. Таким образом, каждый участок растительности формализуется в виде точки евклидова пространства, с координатами, которые соответствуют площадям растительных ассоциаций на этом участке. Далее проводится построение матрицы отношений, которая, в нашем случае, представляет собой таблицу мер сходства Константина между каждыми двумя точками. Здесь возможно также использование дистанции Хеминга и других критериев.

Этап кластерного анализа и классификации включает в себя алгоритмы описанных в теории размытых множеств транзитивного замыкания построенной матрицы отношений и ее декомпозиции на иерархические классы [2]. Полученные таким образом классы на следующем этапе сравниваются с известными в геоботанике типами растительных ландшафтов и, таким образом, выявляются ландшафтные комплексы водных растений акватории съемки.

Во многих случаях задачи дистанционного природоохранного мониторинга предусматривают не только идентификацию типов растительных ландшафтов, но и прогнозирование на основе данных о растительности наличия в данном регионе отдельных загрязнителей (радионуклидов, тяжелых металлов, химических соединений и др.), а также классификацию общего состояния экосистем в исследуемом регионе. Блок биоиндикации (рис.3) предусматривает использование базы знаний о соответствии типов растительных ландшафтных комплексов и видов - биоиндикаторов параметрам качества воды.

Информация в виде данных о зафиксированных на снимке видах - биоиндикаторах и их ландшафтных комплексах сравнивается с уже существующими утверждениями (эвристиками), затем проводится интерполяция в соответствии с правилами нечеткой логики и делается вывод о возможном присутствии отдель-

ных загрязнителей в акватории съемки и показателях качества воды.



Рис.3. Схема этапов блока биоиндикации

Блок классификации (рис.4) выполняет функцию нахождения соответствия получаемых наборов показателей качества воды определенным классам состояния экосистем. При этом за основу при классификации берутся показатели, которые соответствуют 3-м основным классам состояния экосистем: нормальное состояние (эталон); переходное состояние; кризис экосистемы. Кроме того, каждый из этих классов оценивается в свою очередь по 3-м группам загрязнений: солевой фон, трофо-сапробиологические показатели, специфические токсиканты (радионуклиды, тяжелые металлы). Такой классификационный подход представляется наиболее оправданным, ввиду того, что классификации качества воды для потребностей питьевого водоснабжения, рыбохозяйственной и иной деятельности являются производными от общего состояния экосистем соответствующих водоемов. Процедура классификации при этом подобна процедуре, описанной в предыдущем блоке: данные о качестве воды, полученные в предыдущем блоке анализируются, сравниваются с существующими эвристиками классификационной базы знаний, затем проводится интерполяция по правилам нечеткой логики и на выходе получают данные о классе состояния экосистем. На базе полученных таким образом данных существует возможность делать выводы о перспективах того или иного типа водопользования на исследуемом водоеме.



Рис. 4. Схема этапов блока классификации

На заключительной стадии процесса обработки данных дистанционного мониторинга проводятся автоматизированные критериальные оценки состояния исследуемых водных объектов (рис.5). В качестве оцениваемых критериев могут быть взяты, например, "рекреационный потенциал", "природоохранная ценность" и т.п. Подобные критерии носят комплексный характер, поэтому для их оценки используются данные, полученные на предыдущих этапах мониторинга. Алгоритмы критериальных оценок были разработаны с использованием метода парных сравнений теории размытых множеств [3].



Рис.5. Схема этапов блока критериальных оценок

Обобщая описанную схему, отметим, что на вход системы мониторинга может подаваться предварительно обработанная телеметрическая информация со спутников или иных дистанционных носителей, дополненная результатами контактного контроля, а на выходе получают следующие данные:

- 1) зафиксированные на территории съемки виды водных растений и их ландшафтные комплексы;

- 2) информация о возможном наличии в водоемах отдельных загрязнителей (радионуклидов, тяжелых металлов, химических соединений);
- 3) классы состояния экосистем акватории съемки с выводами о качестве воды;
- 4) обобщающие критериальные мониторинговые оценки.

Апробация разработанной методологии производилась на материалах космической съемки каскада днепровских водохранилищ и дельты р. Дунай [4-6]. Данные апробации выявили высокую степень сходства с экспертными оценками, полученными традиционными методами.

Л и т е р а т у р а

1. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. //Inf.& Control.-1965.-N8.-P.338-353.

2. Кофман.А. Введение в теорию нечетких множеств.-М.: Радио и связь, 1982.-432 с.
3. Saaty T.L. Measuring the fuzziness off sets //J.Cybernetics.-1974.-N4.-P.53-61.
4. Федоровский А.Д., Сиренко Л.А., Звенигородский Э.Л., Иванова И.Ю., Суханов К.Ю., Якимчук В.Г. Оценка экологического состояния водоемов с использованием космической информации // Космічна наука і технологія.-1996.-N5. С.103-106.
5. Звенигородский Э.Л., Ротштейн А.П., Иванова И.Ю., Дьяченко Т.Н. Кластерный анализ иерархии структур пространственных единиц водных макрофитов. // Гидроб.журн.,-1997.-N2. С.94-103.
6. Fedorowski A.D., Sirenko L.A., Zwenigorodski E.L. Erfahrungen dei der Anwendung von aerokosmischen Informationen. // 31 Konferenz der fur die bewertung des okologischen Zustandes von Wasserraumen. IAD, Baia-Ungarn, 1996. Wissenschaft.Ref.-P.475-479.