
МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМ"

№ 5804-В84

УДК 519.2:574(262.5)

Е.П.Урюжников, В.Б.Белявская

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТИ СТАНЦИЙ НАБЛЮДЕНИЯ
И КОНТРОЛЯ ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

При решении рекреационных задач приходится сталкиваться с вопросами оценки качества морской среды по комплексным показателям, так как антропогенные нагрузки на природные среды привели к существенным сдвигам в экологическом равновесии целых регионов. Развитие рекреационных систем может только усложнить эти проблемы. Обнаружение пространственных и временных аномалий состояния природной среды входит в задачи мониторинга антропогенных загрязнений /14/. Разработка теории оптимального синтеза мониторинговых систем обнаружения аномалий земной поверхности, с учетом мешающего фона /20,26, 7/ способствует экономии значительного количества средств, так как стоимость таких систем составляет ощутимые доли бюджетов высокоразвитых стран. В рамках этой проблемы развиваются различные подходы к задаче размещения сети станций контроля за изменениями природной среды. Наиболее общим является экономический подход /8/, когда ставится задача нахождения максимального экономического эффекта от использования информации с сети наблюдений в народном хозяйстве, который представляется как разность между величиной уменьшения потерь в народном хозяйстве (благодаря знанию, например, гидрометеорологической информации, улучшения планирования и оптимизации затрат на управление качеством окружающей среды), и стоимостью содержания мониторинговой сети. В связи со сложностью учета экономического эффекта от использования сети наблюдений, на практике часто оптимальное число стан-

ций выбирается исходя из условий обеспечения необходимой точности построения полей определяемых ингредиентов, когда в основу закладываются сведения, например, об их статистической структуре /3/.

В качестве меры точности обычно принимается величина средней квадратической ошибки интерполяции /2,21,10,5/. Очевидно, что при одинаковой точности восстановления поля неодинаковыми будет объем данных, получаемых с единицы изучаемой площади. Поэтому для повышения эффективности исследований стараются найти такие пространственные интервалы дискретизации и уровни квантования информации, при которых количество информации будет иметь минимальную величину /21/. Задача сводится или к решению системы линейных уравнений, порядок которой может быть довольно значительным, или используется информация о корреляционной функции поля и аппаратной функции измерителя.

В ряде случаев оказывается целесообразным использовать другой подход, основанный на решении задачи о размещении "центров", покрывающих заданную область. Сформулируем задачу оптимального выбора станций мониторинговой сети наблюдений следуя логике работы /17/.

Если известны размеры областей, в центрах которых могут быть расположены станции (например, на основе построения изокоррелят или изоинформат /11/) и выбрана координатная сетка мельче, чем эти области, то каждый квадрат сетки может быть представлен вершиной графа. Ребрами соединены только те пары вершин, которые соответствуют соседним квадратам данной области. Тогда задача сводится к определению наименьшего доминирующего множества в этом графе. Особенностью такого подхода является множественность решений оптимального размещения "центров". Известна более общая формулировка подобных задач /11/: для заданного критического расстояния найти такое наименьшее число центров и такое их размещение, чтобы все вершины графа лежали в пределах этого критического расстояния. Выбору критического расстояния может способствовать районирование /27,9/.

Комплексность наблюдений при мониторинге выдвигает на первый план методы многомерного анализа, на основе которых возможно построение согласованных полей /2/. При этом используются как корреляционные, так и спектральные алгоритмы оптимального согласования /7/. Целесообразность спектрального подхода объясняется возможностью применения фундаментальной теоремы статистической теории связи - теореме отсчетов Котельникова-Шеннона, которая устанавливает соответствие между интервалом измерения и шириной спектра поля.

Следует отметить сложность выбора оптимального числа станций при комплексной съемке информации из-за невозможности достижения одинаковой точности восстановления информации для различных показателей, так как они, как правило, имеют различные пространственные корреляционные функции.

Так, известно /3/, что для изотропного поля ошибка интерполяции ϵ , вычисляемая по корреляционной функции, и число отсчетов поля N связаны следующей зависимостью:

$$N = \frac{2\sqrt{3}H}{T^2} \mathcal{L} \ln \epsilon^{-1}$$

где $\mathcal{L}$ - показатель в корреляционной функции;
 H - площадь измерения.

Очевидно, что пространственные корреляционные функции таких гидрологических характеристик как температура воды, воздуха и соленость отличаются от гидрохимических и гидробиологических. При этом отношение $N_1/N_2 = \mathcal{L}_1/\mathcal{L}_2$ при $\epsilon_1 = \epsilon_2$ может достигать 5-10 и поэтому трудно говорить о целесообразности проведения съемки трудноизмеримых элементов на более разреженной сети даже с учетом использования методов согласования полей /2/, которые дают повышения точности на 15-20 %.

Решение задач размещения сети станций мониторинга требует разработки методов, основанных на многомерном анализе.

Значительная вариабельность контролируемых ингредиентов, нестойкость их форм во времени приводят к резкому снижению точности восстановления полей.

В работе /22/ на примере анализа пространственного распределения в придонных водных слоях залива Кара-Богаз-Гол 12-ти компонент (плотность, сухой остаток, CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , B_2^- , P_2O_5 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na) приводится методика оптимизации числа измерений, в основе которой лежит метод автоматической классификации. В общей постановке задача классификации выглядит следующим образом. Некоторая группа объектов рассматривается как генеральная совокупность. По имеющимся результатам наблюдений требуется определить, можно ли рассматривать данный объект как однородный, и если нет, то определить группировку наблюдений, обеспечивающую однородность внутри групп при различиях между ними. Такая группировка определяет положение границ. Уменьшая число исходных данных, повторяют разбивку наблюдений, следят за устойчивостью классов (групп). Алгоритм рассматриваемой методики обычно включает следующие этапы:

- 1 - подготовка матрицы исходных данных;
- 2 - выбор информативных параметров и построение уменьшенной матрицы наблюдений;
- 3 - разбиение исходных данных на группы;
- 4 - оценка правильности классификации;
- 5 - оценка уровня информативности количества станций, попавших в выделенный район;
- 6 - пробное удаление станций;
- 7 - проведение вторичной классификации;
- 8 - проверка устойчивости классов.

Описанный алгоритм предполагает начальную избыточность информации. Следует отметить, что хорошей основой для проведения такого анализа является стандартное математическое обеспечение ЕС ЭВМ на языке Фортран-4, с использованием методов многомерной классификации /18/.

В основе обработки матрицы исходных данных лежит следующий подход /19/. Прежде всего вводится мера бли-

зости двух векторов и строится матрица связи. При этом задача нахождения классов сводится к задаче диагонализации этой матрицы. Такую задачу принято называть задачей автоматической классификации объектов, задачей таксономии, обучение без учителя /1,4,12,13/.

Метод "центра тяжести" особенно часто используется в автоматической классификации. Этот метод применяется к множеству объектов в евклидовом многомерном пространстве. При этом основной является проблема минимизации критериев квадратичного типа.

Один из простых алгоритмов строится по следующей схеме /22,13,16/. Из подлежащей классификации совокупности объектов извлекается случайным образом K элементов, которые используются в качестве начальных приближений для центров K искомых классов. Каждый следующий элемент из классифицируемой совокупности последовательно относится к тому классу, к которому он ближе всего. Такое назначение производится только в том случае, если расстояние между элементом и выбранным представителем меньше заданного порога. В случае превышения порога этот элемент объявляется центром нового класса. После каждого назначения координаты центров классов пересчитываются. Если два центра оказываются слишком близкими (в пространстве признаков) друг к другу, то оба класса объединяются /23/.

Выбор информативных параметров может быть проведен на основе стандартных подпрограмм *VARMLN* и *MLNSK*, которые решают задачу упорядочения признаков по возрастанию дисперсий как составляющей минимальной дисперсии для оптимальной группировки наблюдений.

В материалах по математическому обеспечению ЕС ЭВМ описан ряд подпрограмм по таксономии (*Fogel -1, Fogel -2*), позволяющих осуществить разбиение заданного количества точек на непересекающиеся гиперсферические области, а также классификацию наблюдений по критерию минимальной дисперсии методом ветвей и границ (*KNF -1*) /18/.

На основе этого подхода можно предложить различные

методы районирования /24,25,6,15/ по комплексным показателям. Особенностью такого подхода является то обстоятельство, что выделение тех или иных районов происходит только при определенном сочетании анализируемых показателей. Например, в /24/ при анализе акватории Каркинитского залива по гидрохимическим показателям качества вод был выделен район вблизи промышленных городов только при учете трех показателей (pH , O_2 , PO_4^{3-}). Это характерные показатели данного района. Таким образом, целесообразно провести районирование Каркинитского залива на две части: открытую акваторию и район, подверженный антропогенному воздействию. С учетом этого следует произвести переоценку как количества измерений на сети ОГСНК, так и качественного их состава. При этом возникает необходимость в выполнении не только фоновых (стандартных) измерений, но и слежение с большей чистотой по другой пространственной сетке за характерной тройкой гидрохимических показателей.

В заключение следует отметить, что необходимость оценки антропогенных нагрузок на экосистемы ставит более сложные, чем при разработке традиционных мониторинговых систем, задачи и требует учета комплексности измерений неустойчивых форм ингредиентов на фоне мешающих внешних факторов.

Литература

1. Айвазян С.А., Бежаева З.И., Староверов О.В. Классификация многомерных наблюдений. - М.: Статистика, 1974. -240 с.
2. Андрющенко А.А., Беляев В.И. Об оптимизации размещения сети станций для одновременного измерения нескольких статистически связанных океанографических полей. - Изв. АН СССР ФАО, 1975, т.II, № 10, с.1047-1054.
3. Беляев В.И. Обработка и теоретический анализ океанографических наблюдений. - К.: Наукова думка, 1973. - 295 с.
4. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обра-

ботки эмпирических данных. - М.: Наука, 1983, 464 с.
Бримкулов У.Н., Круг Г.К., Саванов В.Л. Рационализация измерительной сети по критерию точности математического описания поля норм. - Метеорология и гидрология, 1978, № 7, с.25-34.

Булгаков Н.П., Ломакин П.Д., Рыбалко В.А. Районирование Карибско-Мексиканского бассейна по типам гидрологоакустических структур с использованием кластер-анализа. - В сб.: Океанические исследования в центрально-американских морях. Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1984, с.6-18.

Васильев А.С. Мониторинговые системы внутреннего моря. - В сб.: Комплексные исследования Черного моря. Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1984, с.50-62.

Гандин Л.С., Каган Р.Л. - В кн.: Проблемы получения и обработки информации о физическом состоянии океана. Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1967.

Гладских А.И., Козлов Ю.В., Комаров В.С. Метод оптимального размещения сети контрольно-замерных станций при контроле загрязнения воздуха промышленного города. - Проблемы контроля и защита атмосферы, 1981, № 7, с.16-24.

Доценко С.В., Недовесов А.Н. Восстановление случайного поля по конечному члену его реализаций. - В сб.: Теория океанических процессов. Севастополь: изд. МГИ АН УССР, 1981, с.131-138.

Дуганов Г.В., Непомнящий С.К. Об информационном подходе к решению задач размещения станций контроля загрязнения окружающей среды. - Проблемы контроля и защита атмосферы от загрязнения. 1981, вып.7, с.24-29.

Елисеева И.М., Рукавишников В.О. Группировка, корреляция, распознавание образов. - М.: Статистика, 1977, -144 с.

Загоруйко Н.Г., Елкина В.Н., Лбов Г.С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. - Новосибирск, Наука, 1985, -110 с.

Израэль Ю.А. Экология и контроль природной среды. - М.: Гидрометеиздат, 1984, -560 с.

15. Каратаев Г.И., Пашкевич И.К. Геолого-математический анализ комплекса геофизических полей. - К.: Наукова думка, 1986, -168 с.
16. Кильдишев Г.С., Аболенцев Ю.И. Многомерные группировки. - М.: Статистика, 1978, -160 с.
17. Кристофидес Н. Теория графов: Алгоритмический подход. - М.: Мир, 1978, -432 с.
18. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ-Минск: институт математики АН БССР, 1983, вып.10, с.139-150; 1981, вып. 16, с.60-103; 1980, вып.24, с.85-101; 1981, вып.29, с.9-19.
19. Методы анализа данных: Подход, основанный на методе динамических сгущений / Кол. авт. под рук. Э.Дидэ / - М.: Финансы и статистика, 1985, -357 с.
20. Мкртчян Ф.А. Оптимальное различие сигналов и проблемы мониторинга. - М.: Наука, 1982, -186 с.
21. Недовесов А.Н. Планирование измерений случайного поля для его восстановления по конечному числу реализаций. - В сб.: Теория океанических процессов. Севастополь: изд. МГИ АН УССР, 1981, с.139-143.
22. Родионов Д.А. Статистические решения в геологии. - М.: Недра, 1981, -231 с.
23. Розин Б.Б., Котюков В.И., Ягольницер М.А. Экономико-статистические модели с переменной структурой. - Новосибирск: Наука, 1984, -242 с.
24. Урюжников Е.П., Белявская В.Б., Солдатова Т.Ю. Системный подход в экологическом районировании акваторий. - В сб.: Материалы конференции "Совершенствование управления развитием рекреационных систем". Севастополь; изд. МГИ АН УССР, 1985, с.176-189.
25. Урюжников Е.П., Белявская В.Б. Классификационный анализ в обработке гидрохимической информации. Тез.доклада на Всесоюзном совещании пользователей океанографической информации. Обнинск: изд. ВНИИГМИ МЦД, 1985, с.118.
26. Флейшман Б.С. Основы системологии. - М.: Радио и связь, 1982, -368 с.

27. Щербан А.Н., Примаков А.В., Поляков В.Н. О выборе количества и месторасположения контрольно-замерных станций в автоматизированных системах контроля загрязнения. - Проблемы контроля и защита атмосферы от загрязнения, 1977, вып.3, с.7-12.