

УДК 504.4.062.2

В. В. ШАБАНОВ, В. Н. МАРКИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

МЕТОДИКА ВЫБОРА МЕСТА И ЧАСТОТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, СОСТОЯНИЯ БЕРЕГОВ И РЕЖИМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДООХРАННЫХ ЗОН

Рассмотрены некоторые принципиальные положения выбора места проведения мониторинга в условиях трехзвенной системы (космический снимок – аэрофотоснимок беспилотным летательным аппаратом – наземные инструментальные наблюдения). Дана методология определения типичных сложных природных объектов. Представлена методика оценки частоты и точности наблюдений. Устанавливается, что необходимая точность измерений зависит от задачи исследований, а частота наблюдений от закона распределения измеряемой величины.

Предложенный подход позволяет разрабатывать оптимальную систему управления на основе минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду.

Мониторинг, водный объект, методология, репрезентативный участок.

There are considered some principal regulations of choosing the monitoring place under the conditions of a three level system (space photo – aerial photograph by a pilotless vehicle – ground instrumental observations). The methodology is given for determination of the typicalness of difficult natural objects. It is shown that the choice of the representative place depends on its typicalness. In the work there is given a method of assessment of the frequency and accuracy of observations. It is established that the necessary accuracy of measurements depends on the task of investigations and the frequency of observations – on the law of the value distribution under measurement.

The proposed method allows developing the optimal control system on the basis of minimization of the anthropogenic impact on the environment.

Monitoring, water object, methodology, representative place.

Методика выбора места наблюдения (тип русла, время года, гидрологическая фаза).

Мониторинг осуществляется на водных объектах, включая их прибрежные территории, в первую очередь берега и водоохранные зоны, водохозяйственные системы и сооружения. Количество створов наблюдений и порядок их размещения определяются с учетом выполнения хозяйственных задач (необходимость в гидрологической, гидрохимической, гидробиологической информации). Размещение контрольных створов производится с учетом анализа природных условий среды, антропогенного воздействия, значимости объектов.

В связи с этим выделяются следующие зоны мониторинга:

Зона непосредственного воздействия – районы интенсивного протека-

ния русловых процессов, переформирования прибрежных территорий, устья рек и их отдельные участки, гидроузлы, места сброса сточных вод, поступления площадных стоков и т. п.

Зона транзитных участков – контроль загрязнения воды в районах, примыкающих к зонам непосредственного влияния и попадающих под косвенное воздействие. В таких зонах осуществляется мониторинг распространения и трансформации загрязнений.

Фоновые зоны – вне зон прямого и косвенного антропогенного воздействия (например, выше по течению рек).

Следует отметить, что параметры мониторинга в указанных зонах имеют стохастическую природу, т. е. случайны либо во времени, либо в пространстве. Поэтому в условиях сокращения количества наблюдательных постов, станций, створов

имеет смысл определить типичные для данного места наблюдения участки, чтобы можно было распространить эти результаты на другие территории.

Методология определения типичных сложных природных объектов, характеризующихся стохастическими параметрами, была разработана в проблемной лаборатории МГМИ [1, 2].

Далеко не всегда имеется информация о всех участках водной системы*, поэтому, проводя мониторинг на данном участке, целесообразно иметь возможность распространить его результаты на другие участки, типичные рассмотренному.

Типизация может быть выполнена на основе некоторой математической модели количественной классификации, один из вариантов которой был разработан Шабановым в 1971 году для таких сложных природно-технических систем, какими являются объекты мелиорации, находящиеся на водосборе реки [1].

При работе над классификацией типичных участков водного объекта необходимо, учитывая определенные требования. Признаки, выбранные для классификации водных объектов, должны иметь следующие свойства: 1) математическую структуру, адекватную структуре объекта, т. е. описываться стохастическими закономерностями; 2) обладать устойчивостью характеристик при повторном измерении и однозначностью; 3) иметь разную степень значимости для принятия решения; 4) количество признаков должно быть минимальным для данной классификации.

Выбранные признаки создают N -мерное пространство, в котором выделяется N -мерная область классового эталона. За эталон предлагается принять множество, обладающее перечисленными свойствами $\{\varphi'; \varphi'' \dots \varphi^n\}$, в пространстве признаков заданное формальным правилом (характеристическим свойством), определяющим принадлежность природного (в том числе и водного) объекта t к множеству.

В связи с тем что любой объект может быть задан различными характеристическими свойствами, каждая классификация индивидуальна.

* Водная система объединяет водный объект и водосбор.

Эталоном для данного класса объектов внутри водных систем предлагается называть множество объектов, обладающее следующим свойством: при наложении (применении на них) одинаковых управлений создаются условия равной степени точности по заданному множеству факторов, т. е.

$$M = \{m : S(U) = \text{const}\}.$$

Одной из наиболее ответственных процедур является процедура формирования эталона. В целях достижения однозначности построения эталон должен формироваться с учетом следующих требований:

эталон в пространстве признаков не должны пересекаться. Это означает, что существует некоторое минимальное расстояние в заранее выбранной метрике между двумя классовыми эталонами, которое для всех N -координат остается больше наперед заданной величины точности классификации;

эталон должен иметь минимальный размер в пространстве признаков, позволяющий правильно производить классификацию, т. е. подмножества, составляющие эталон, не должны быть пустыми;

граница эталона определяется как геометрическое место точек, где мера принадлежности отличается от нуля на величину ошибки классификации.

В случае, если все признаки равноценны, то меру принадлежности k -го объекта к s -му эталону в пространстве признаков можно определить по зависимости

$$P[(\varphi_1 \subset S) \wedge (\varphi_2 \subset S) \wedge \dots \wedge (\varphi_n \subset S_n)] = \prod_{i=1}^n (\varphi_i \subset S), \quad (1)$$

где \wedge – обозначение конъюнкции; \subset – знак принадлежности к множеству.

При введении признаков второго порядка математическую модель можно записать так:

$$P\{\wedge[\vee(\varphi \subset S)]\} = \prod_{i=1}^m \left\{ P_k \left[1 - \prod_{k=1}^m (1 - P_n) \right] \right\}, \quad (2)$$

где \vee – операция логического сложения (дизъюнкция); m – число признаков; k – номера признаков первого порядка; n – номера признаков второго порядка.

Для нормального закона распределения признаков выражение (2) можно записать в виде комбинаций интеграла вероятности. Так, вероятность

принадлежности к условному эталону может быть записана в явном виде:

$$P = \prod_{i=1}^m \left\{ P_k \left[1 - \prod_{k=1}^m (1 - P_n) \right] \right\}. \quad (3)$$

Значения P_k и P_n вычисляют по формуле

$$P_{k;n} = \Phi^* \left(\frac{S'' - \varpi}{\sigma_w} \right) - \Phi^* \left(\frac{S' - \varpi}{\sigma_w} \right),$$

где S'' – верхняя граница эталонного диапазона; S' – нижняя граница эталонного диапазона; ϖ – центр распределения признака; σ_w – среднее квадратическое отклонение.

В первом приближении можно предполагать, что $S'_{w_i} = \varpi_i - 3\sigma_{w_i}$ и $S''_{w_i} = \varpi_i + 3\sigma_{w_i}$. При отклонении закона распределения от нормального может быть использован графоаналитический метод, разработанный в 1973 году автором статьи Шабановым.

Наблюдения, проведенные в типичных зонах, должны содержать информацию, позволяющую достичь следующих целей:

выявить влияние антропогенного воздействия (сосредоточенного и рассредоточенного, прямого или косвенного) и природных изменений, происходящих в окружающей среде. В этом случае необходимы наблюдения в источниках воздействия, в створах выше и ниже мест их влияния на реку;

дать оценку и сделать прогноз изменений состояния природной среды в целом и отдельных ее компонентов. В данном случае появляется необходимость получения сведений о естественном (фоновом) состоянии водных объектов и их состоянии с учетом оказываемого влияния.

Створы наблюдения устанавливаются:

в местах отсутствия прямого и косвенного антропогенного влияния (или косвенное воздействие несущественно) – фоновые створы;

при проявления процессов естественного или антропогенного происхождения (оползней, селей, подтопления, эрозии и др.);

в местах, регламентируемых потребностями планирования использования водных ресурсов [1].

Получаемые в створах данные должны позволять формировать многолетние

ряды контролируемых параметров водных объектов. В этом случае учитывается использование расчетных методов (особенно для неконтролируемых постоянными наблюдениями типичных створов), в том числе методом аналогии на фоне районирования территории.

Районирование проводится, например, на основе *типизации* основных параметров (гидрологических, гидрохимических) и условий формирования водных объектов.

Выбор места сетевых наблюдений за деформациями речных русел зависит от многих причин и их следует выбирать в следующих местах:

подверженных начальным стадиям переформирования русла (дна и берегов), чтобы проследить динамику процесса или наметить мероприятия, необходимые для стабилизации положения русла, если это грозит какими-нибудь ущербами;

ожидаемого переформирования русла, координаты которых могут быть получены по результатам моделирования русловых процессов. Места ожидаемого переформирования русла могут быть выявлены и на основании связи между деятельностью в бассейне и переформированием русла в реке-аналоге.

Методика оценки частоты наблюдений (нормативная и с учетом скорости изменения процесса). Частота наблюдений зависит от физической сущности процесса и назначается исходя из частоты естественных фаз «жизни» реки и частоты антропогенного вмешательства в природный режим водного объекта. С учетом природного ритма изменения стока обязательными моментами измерения являются «моменты» прохождения паводков и ливней. Вместе с тем, при любом антропогенном воздействии, которое может повлечь за собой изменение русла, назначаются дополнительные измерения, частота которых определяется скоростью «затухания процесса», вызванного антропогенным воздействием.

Место (зона) измерений назначается на наиболее «уязвимом» участке водного объекта, положение которого определяется на основании результатов моделирования процессов изменения русла. Частота наблюдений, при прочих равных условиях, зависит от характера случайного процесса или, при фиксированном времени,

от закона распределения случайной величины.

Методика оценки точности наблюдений (дистанционные методы, непосредственные наблюдения). Поскольку

наблюдения должны быть максимально стандартизированы, точность их может быть принята по рекомендациям Всемирной метеорологической организацией (таблица).

Точность измерения гидрологических параметров, рекомендованная ВМО

| Гидрологические переменные | Рекомендуемая точность |
|---------------------------------|--|
| Осадки (сумма и форма) | 3...7 % |
| Интенсивность осадков | 1 мм/ч |
| Высота снега (в точке) | 1 см при высоте менее 20 см и 10 % при высоте более 20 см |
| Водность снега | 2,5...10 % |
| Испарение (в точке) | 2...5 %; 0,5 мм |
| Скорость ветра | 0,5 м/с |
| Уровень воды | 10...20 мм |
| Высота волны | 10 % |
| Глубина воды | 0,1 м; 2 % |
| Ширина водной поверхности | 0,5 % |
| Скорость течения | 2,5 % |
| Расход воды | 5 % |
| Концентрация взвешенных наносов | 10 % |
| Сток наносов | 10 % |
| Сток донных наносов | 25 % |
| Мутность | 5...10 % |
| Толщина льда | 1,2 см; 5 % |
| Покрытость льдом | 5 % для 20 кг/м ³ |
| Влажность почвы | 5 % |

Такой подход позволяет разрабатывать оптимальную систему управления на основе минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду.

1. **Шабанов В. В.** Типизация объектов сельскохозяйственных мелиораций // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1971. – № 1.

2. **Шабанов В. В.** Некоторые задачи многофакторной количественной классификации мелиоративных объектов: Режим осушения и методика полевых научных исследований: Сборник научных трудов. – М.: МГМИ, 1971.

3. **Шабанов В. В.** Биоклиматическое обоснование мелиораций. – М.: Гидрометеоиздат, 1973.

4. Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов. – М.: Минприроды России, 2007.

Материал поступил в редакцию 03.06.14.

Шабанов Виталий Владимирович,
доктор технических наук, профессор
Тел. 8-926-516-69-99
E-mail: 515vvsh@gmail.com

Маркин Вячеслав Николаевич,
кандидат технических наук, доцент
Тел. 8-903-012-67-10
E-mail: MVNarkin@mail.ru