

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 502.7:551.215(282.251.1)

В. П. БОЛОТНОВ

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕСЕННИХ ПОЛОВОДИЙ НА ЭКОСИСТЕМЫ РЕЧНЫХ ПОЙМ

Представлена концепция формирования комплексного показателя — индекса воздействия половодья (ИВП), характеризующего воздействие половодий на биотические элементы пойменных экосистем. ИВП учитывает ежегодные изменения высоты, продолжительности, площади затопления поймы рек, дату выхода воды на пойму, температуру и загрязнение воды, измеряется в относительных единицах и характеризует изменение половодий по отношению к среднесезонным характеристикам.

Presented is the concept of the generation of an integrated index, the index of flood impact (IFI), characterizing the impact of spring floods on biotic elements of floodplain ecosystems. The IFI takes into account annual changes in the height, duration and area of river floodplain inundation, the date at which water advances into its floodplain, water temperature, and pollution and is measured in relative units and characterizes the spring flood variation relative to monthly mean characteristics.

Главная особенность пойменных экосистем заключается в том, что свойства их биотических компонентов и многолетняя динамика почти полностью обусловлены половодьями, сформировавшими пойму. Половодья определяют также структуру частиц поймы, переносимых иногда за тысячи километров, отбор устойчивых к переувлажнению видов растений и околородных видов обитающих здесь животных. При таком свойстве пойменной экосистемы особенно важны точность и комплексность общей характеристики половодья.

При анализе водного режима и биологических компонентов природного комплекса речных пойм обычно используется одна или две характеристики весеннего половодья. Ихтиологи чаще всего ориентируются на максимальный уровень [1–3], зоологи — на общую продолжительность затопления [4], ботаники — на общую площадь затопления [5]. В 1981 г. предложен индекс половодья [6], учитывающий долю заливаемой дельты реки и длительность заливания, или объем половодья.

Во всех случаях высотная дифференциация поймы, как правило, не учитывается. Кроме того, гидрограф половодья в один и тот же год на разных участках поймы выше и ниже по течению реки может иметь различный по форме максимальный уровень, как, например, на р. Оби, где на южном участке его форма остропиковая, а на северном — выположенная. При использовании максимального уровня как главной характеристики половодья часто забывают, что такой уровень обычно наблюдается один-два дня, в то время как пойма может заливаться на более длительные сроки (на Оби — до 60 дней). Аналогичное использование продолжительности затопления также приводит к ошибкам, поскольку различные по форме гидрографы могут приравняться друг к другу из-за одинаковой продолжительности затопления.

Значительно меняется на разных участках рек такая характеристика половодья, как площадь затопления, которая определяется не только формой гидрографа, но и рельефом поймы. Поскольку площадь низкой поймы на южном участке Оби мала, а к северу возрастает, одинаковые по форме половодья могут оказывать различное воздействие. Изменения другой характеристики гидрографа половодья — даты выхода воды на пойму — также велики и могут составлять до 22 дней. При характеристике весеннего половодья по показателям стока затрудняется описание взаимодействия половодья с биологическими компонентами по поперечному профилю поймы, когда необходим учет особенностей рельефа поймы.

© 2006 Болотнов В. П. (e-mail: bolotnov@imces.ru)

В связи с этим при анализе динамики биологических компонентов природного комплекса поймы и весенних половодий встает вопрос о комплексном показателе, характеризующем всю совокупность воздействия ежегодных изменений половодья. Ближе всего к определению такого показателя подошли А. А. Максимов [4] и Б. Н. Фомин [7]. Последний определил индекс влияния половодья на основе ежегодного анализа продолжительности затопления поймы с учетом ландшафтной дифференциации, включающей продолжительность затопления низин поймы, низин и сенокосных грив, а также всей поймы, исключая при этом постоянно не заливаемые высокие гривы и останцы.

Однако, как следует из сказанного, этот индекс не лишен недостатков, присущих показателю, базирующемуся на одной характеристике половодья, а также вследствие субъективности при оценке высоты поймы. В связи с этим нами предложен комплексный показатель — индекс воздействия половодья (ИВП), более полно описывающий совокупность влияния весеннего половодья на биологические компоненты природного комплекса поймы с учетом ландшафтной структуры. В показатель предлагается ввести шесть составляющих. Первые четыре параметра — индексы затопления поймы, его даты, продолжительности, высоты, площади — описывают гидрограф половодья, два других — индексы температуры воды и загрязнения — являются качественными характеристиками.

При учете высотной структуры поймы допускается, что интенсивность воздействия увеличивается пропорционально высоте положения выделенных участков. Это обусловлено более резким и менее сильным воздействием на них половодий, в связи с чем природные компоненты этих участков обладают меньшими адаптационными возможностями. Следовательно, на участке поймы с высоким уровнем затопления произойдет изменение, одинаковое по силе с участком с более низким уровнем затопления.

Для выделения уровней затопления удобно использовать характерные уровни, принятые в проектной практике — 95, 75, 50 и 25 % обеспеченности. Первые уровни (95 % обеспеченности) соответствуют очень низким местам поймы — сорам, устьям озер, затапливаемым ежегодно, вторые (75 % обеспеченности) — низким лугам. Уровни 50 % обеспеченности соответствуют высоким лугам, а при уровне 25 % затапливается практически вся пойма, за исключением крайне редко не заливаемых высоких грив. Для определения воздействия разных уровней затопления можно использовать соотношение весов показателей на различных уровнях [7].

Допустим, что характеристика половодья (максимальная высота затопления поймы, продолжительность затопления или любая другая) имеет следующие значения: $X_{95\%} = 30$, $X_{75\%} = 6$, $X_{50\%} = 3$, $X_{25\%} = 0$. Если характеристике половодья при 95 % обеспеченности придать значение, равное единице, то для этого уровня оно составит 30. Для уровня 75 % обеспеченности, исходя из принципа адаптивности (т. е. чем дольше действует фактор, тем лучше к нему адаптирован ресурс), одна единица $X_{75\%}$ будет по силе воздействия равняться $30 : 6 = 5$ ед. $X_{95\%}$, а $X_{50\%} = 30 : 3 = 10$ ед. $X_{95\%}$. В этом случае за оценку интенсивности разлива за каждый год можно принять сумму по трем уровням:

$$Y = X_{95\%} + 5X_{75\%} + 10X_{50\%},$$

или в общем виде

$$Y = X_{95\%} + aX_{75\%} + bX_{50\%} + cX_{25\%},$$

где a , b , c — весовые коэффициенты каждого уровня затопления.

Чтобы соотнести индексы характеристик половодья между собой в относительных единицах, можно разделить их на среднемноголетние значения для всего ряда наблюдений. При этом уравнение отдельной характеристики половодья примет следующий вид:

$$I_X = \frac{X_{95\%} + aX_{75\%} + bX_{50\%} + cX_{25\%}}{\bar{X}},$$

а общее уравнение индекса воздействия половодья —

$$I = \frac{1}{6} \cdot (I_d + I_h + I_p + I_{pL} + I_T + I_Z).$$

Частные уравнения будут выглядеть как

$$I_d = \frac{d_{95\%} + a_d d_{75\%} + b_d d_{50\%} + c_d d_{25\%}}{\bar{d}};$$

$$I_p = \frac{p_{95\%} + a_p p_{75\%} + b_p p_{50\%} + c_p p_{25\%}}{\bar{p}};$$

$$I_h = \frac{h_{95\%} + a_h h_{75\%} + b_h h_{50\%} + c_h h_{25\%}}{\bar{h}};$$

$$I_{pL} = \frac{pL_{95\%} + a_{pL} pL_{75\%} + b_{pL} pL_{50\%} + c_{pL} pL_{25\%}}{\bar{pL}};$$

$$I_T = T/\bar{T};$$

$$I_Z = Z/\bar{Z},$$

где $I_d, I_p, I_h, I_{pL}, I_T, I_Z$ — соответственно индексы затопления поймы изучаемого района, даты его начала, продолжительности, высоты, площади, а также температуры и загрязнения воды; d, p, h, pL, T, Z — соответственно ежегодные абсолютные значения этих показателей; $\bar{d}, \bar{p}, \bar{h}, \bar{pL}, \bar{T}, \bar{Z}$ — их среднемноголетние значения. Цифры 95 %, 75 %, 50 % и 25 % характеризуют обеспеченность высотных горизонтов поймы, т. е. показывают в процентах число лет, в течение которых половодье может повисить заданные горизонты.

Расчет характеристик половодья имеет свои особенности. Так, чтобы определить роль даты начала затопления поймы, необходимо сравнить ее с датой самого позднего затопления в многолетнем ряду наблюдений. Это сравнение имеет экологический смысл, поскольку половодья с примерно одинаковыми общими характеристиками, но с поздними датами выхода воды на пойму проходят более сглаженно. Это позволяет околководным животным (ондатра, водяная полевка) произвести помет, окрепнуть молоди; прогреться участкам пойменных лугов и воздуху, нагревающему воды и мелководья на пойме, при этом создаются условия для благоприятного нереста.

Отклонение от среднемноголетней даты половодья в сторону как раннего, так и позднего выхода воды в пойму приводит к перестройке биологических компонентов природного комплекса поймы. Количественно этот показатель определяется как разница между ежегодной и самой поздней датой начала затопления поймы в многолетнем ряду наблюдений, принятой за точку отсчета. Высота затопления участков поймы заданной обеспеченности рассчитывается как разница между максимальным уровнем затопления в конкретный год и уровнем затопления территории этой обеспеченности.

Продолжительность затопления для каждого уровня заданной обеспеченности рассчитывается как его разница между датами начала выхода воды на данный уровень поймы и схода воды. Поскольку показатель начала выхода воды на пойму вместе с продолжительностью половодья позволяет определить дату схода воды с поймы, для общей характеристики гидрографа половодья он не используется.

Представленная схема расчета отдельных характеристик индекса воздействия половодья (см. рисунок) демонстрирует интегративность воздействия больших половодий с учетом того, что с увеличением высоты затопления поймы возрастает и его площадь. Общая площадь затопления заданного уровня обеспеченности рассчитывается как сумма всех площадей характерной обеспеченности, расположенных ниже (с большим процентом обеспеченности, включая и площадь, соответствующую выходу воды на пойму).

На типовом гидрографе весеннего половодья (см. рисунок, *a*) показан способ определения характерной высоты затопления поймы: при выходе воды на пойму, при принятой обеспеченности (H_{95-25}). Гидрограф половодья кроме того дает такие характеристики, как даты выхода воды на пойму (d_B), начала затопления уровней поймы принятой обеспеченности (d_{95-25}), а также продолжительности затоплений поймы принятой обеспеченности (P_{95-25}). Представлены отдельные площади, соответствующие уровням характерной обеспеченности (PL_B, PL_{95-25}) (см. рисунок, *b*) и общие площади (S_B, S_{95-25}).

Для расчетов индекса температуры воды (T) при выходе на пойму целесообразно не проводить дифференциации с учетом различной высотности поймы, поскольку в первые три дня она примерно такая же, как и воды в русле. Вода прогревается позже — в период ее стояния на пойме — и определяется в основном температурой воздуха. Температура воды во время заливания поймы определяется в первую декаду выхода воды на пойму. В эти сроки можно установить изменение температуры воды в момент начала нереста.

При оценке качества вод весеннего половодья можно также не учитывать дифференциации его воздействия на различные по высоте участки поймы, так как качество воды существенно не меняется при их затоплении. Кроме того, использование данных о состоянии вод для одного сезона — весенне-летнего половодья — при многолетнем анализе не всегда оправданно, поскольку на жизненный цикл организмов, например рыб, большее влияние оказывает качество воды в летне-осеннюю межень, а еще больше — в зимнюю. Если во время половодья ее состояние значительно улучшается при выходе воды на пойму за счет процессов разбавления и аэрации, то иногда в эти же сезоны ухудшение качества вод может привести даже к заморным явлениям. Поэтому при использовании данных о годовых уловах лимитирующим качеством воды надежнее считать не сезон половодья, а сезоны внутри года и при расчетах использовать среднегодовую концентрацию загрязняющих веществ.

Как показал сезонный и многолетний анализ качества вод средней Оби, основные загрязнители, превышающие предельно допустимые концентрации, фенолы и нефтепродукты, наличие которых обусловлено выбросами промышленных объектов, расположенных в бассейне Оби и выше ее среднего участка — в Кемеровской и Новосибирской областях. С учетом того, что промышленность работа-

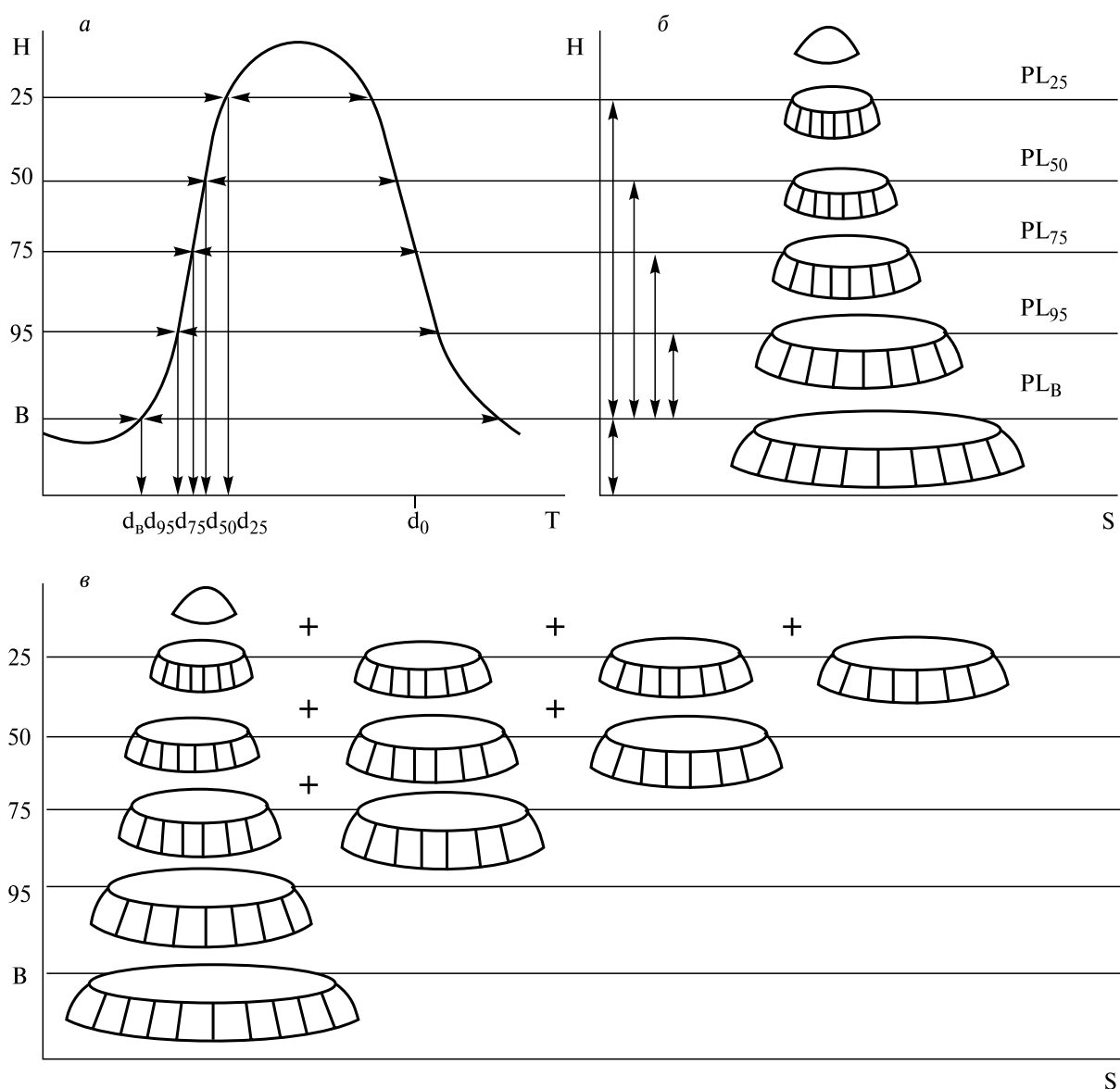


Схема для расчета отдельных характеристик индекса воздействия половодья: *a* — характерной высоты, даты начала затопления поймы и ее продолжительности; *б* — отдельных площадей, соответствующих уровням характерной обеспеченности; *в* — общих площадей затопления, соответствующих уровням характерной обеспеченности. Обозначения см. в тексте.

ет в установленном режиме, который нарушается только при вводе новых промышленных объектов или очистных сооружений, количество выбросов загрязнений в основном постоянно изменяется скачкообразно, а его концентрация в воде зависит от водности реки.

При рассмотрении изменения природных комплексов поймы на достаточно высоком уровне — ее участков в пределах административных районов, а не отдельных урочищ или других дробных единиц, когда под влиянием сельскохозяйственной деятельности, добычи нефти, залповых выбросов мелких промышленных предприятий могут возникать локальные очаги загрязнения, следует учитывать возможность изменения показателей состояния вод, однако общее загрязнение на уровне районов существенно на них не сказывается.

При создании индекса использован и факторный анализ. В результате выделено два фактора, составляющих воздействие половодья: первый включает четыре параметра, описывающих гидрограф половодья (дата начала выхода воды на пойму, максимальная высота затопления, его продолжительность и площадь), и второй, включающий температуру воды и ее качество. Доля второго фактора незначительна, что подтверждает величина общей дисперсии каждого параметра половодья по отно-

Отношение параметров половодья р. Оби к общей дисперсии

Изменчивость параметров половодья	Север (водпост с. Александровское)		Центр (в/п Колпашево)		Юг (в/п Кругликово)	
	накопленное отношение к общей дисперсии	частное отношение, %	накопленное отношение к общей дисперсии	частное отношение, %	накопленное отношение к общей дисперсии	частное отношение, %
Начало затопления поймы	0,528	53	0,442	44	0,424	42
Продолжительность затопления	0,729	19	0,686	25	0,670	25
Высота затопления	0,920	20	0,871	19	0,865	19
Площадь затопления	0,990	7	0,994	12	0,982	12
Температура воды при затоплении	1,000	1	1,000	0	1,000	2

Таблица 2

Уравнения для расчетов основных характеристик индекса воздействия половодья в пойме средней Оби

Индекс	Район		
	северный	средний	южный
Высоты затопления	$I_h = h_{95} + 1,7h_{75} + 3,2h_{50}$	$I_h = h_{95} + 2,2h_{75} + 4,3h_{50}$	$I_h = h_{95} + 2,1h_{75} + 4,7h_{50}$
Площади	$I_s = PL_{95} + 2,3PL_{75} + 6,6PL_{50}$	$I_s = PL_{95} + 2,2PL_{75} + 7,5PL_{50}$	$I_s = PL_{95} + 1,8PL_{75} + 3,2PL_{50}$
Продолжительности	$I_{Pt} = Pt_{95} + 1,4Pt_{75} + 2,7Pt_{50}$	$I_{Pt} = Pt_{95} + 1,8Pt_{75} + 3,0Pt_{50}$	$I_{Pt} = Pt_{95} + 3,5Pt_{75} + 9,8Pt_{50}$
Даты затопления	$I_d = d_{95} + 1,5d_{75} + 3,5d_{50}$	$I_d = d_{95} + 1,3d_{75} + 1,9d_{50}$	$I_d = d_{95} + 1,6d_{75} + 2,3d_{50}$

шению к общей дисперсии характеристик половодья (табл. 1). Так, величина вклада качественной характеристики — температуры воды во время затопления поймы, незначительна и составляет один-два процента. Вклад других характеристик составляет 21–24 %, и их величины сопоставимы. В связи с этим для расчетов индекса влияния половодья использованы четыре основные характеристики половодья — дата начала выхода воды на пойму, максимальная высота затопления, площадь затопления поймы, продолжительность затопления.

В названии индекса воздействия половодья заключен определенный смысл, так как его ежегодное значение сравнивается со среднемноголетним показателем, т. е. оценивается его воздействие по сравнению со средним по общим показателям водности. Как свидетельствуют многолетние наблюдения в пойме Оби, в годы с интенсивным половодьем отмечается максимальная продуктивность пойменной экосистемы [8–10].

Для средней Оби в границах Томской области индексы воздействия половодья рассчитаны по трем створам, которые можно принять за опорные — водпосты у с. Кругликово (южный участок), у г. Колпашево (центральный) и у с. Александровское (северный). Представлены уравнения характеристик половодья, составленные для учета высотной дифференциации поймы, что в свою очередь позволило учесть различную адаптивность биологических компонентов экосистемы (табл. 2). Анализ уравнений показывает, что значимость затопления средних участков поймы на уровне 75 %-ной обеспеченности в 1,5–2 раза выше, а высоких участков 50 %-ной обеспеченности — в 3, 6, а иногда и в 9 раз выше, чем низких мест 95 %-ной обеспеченности затопления.

Показатели ИВП для каждого года по указанным водпостам имеют громоздкий вид и представлены в форме таблиц [8]. Для поймы средней Оби при расчете устойчивости на уровне района можно использовать индекс воздействия половодья без учета качественных характеристик состава воды, поскольку ввод новых промышленных сооружений происходит не каждый год, а в последнее время, наоборот, наметилась тенденция закрытия предприятий.

Таким образом, выполнив ряд расчетов, можно получить сложный системный показатель, достаточно полно описывающий воздействие весенних половодий на биологические ресурсы. Несмотря на уже отмеченную некоторую громоздкость расчетов, использование одной из характеристик половодья не отражает сходства и различий в воздействии половодий, часто сходных по одному-двум параметрам, но различающихся по другим.

Использование ИВП для установления корреляционных связей с продуктивностью рыбного сообщества, сенокосных угодий, популяций водяной полевки, ондатры, орнитокомплекса поймы, особенно группы водоплавающих птиц дало удовлетворительные результаты [11], при этом для рыб использовался сдвиг рядов в три года, обусловленный сроком созревания молоди до промысловых размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гундризер А. Н.** Рыбы пойменных водоемов Оби // Природа поймы реки Оби и ее хозяйственное освоение: Труды Том. ун-та. — 1963. — Т. 152.
2. **Замятин В. А.** Влияние гидрологического режима на рыбное хозяйство р. Оби // Труды Обь-Тазовского Сиб-рыбНИИпроекта (новая серия). — 1977. — Т. 4.
3. **Москаленко Б. К.** Влияние многолетних колебаний уровня реки Оби на рост, плодовитость и размножение некоторых рыб // Зоол. журн. — 1975. — Т. 35, вып. 5.
4. **Максимов А. А., Ермаков Л. Н., Сергеев В. Е., Салтыков В. В.** Сукцессии населения землероек и грызунов в пойме среднего течения Оби // Сукцессии животного населения в биоценозах поймы реки Оби. — Новосибирск: Наука, 1981.
5. **Шепелева Л. Ф.** О влиянии половодья на продуктивность лугов поймы // Экология. — 1986. — № 2.
6. **Мусантов А. П., Красножон Г. Ф., Федосеев Е. А.** Экологические основы создания оптимального водного режима в дельте Волги и Северном Каспии // Водн. ресурсы. — 1981. — № 4.
7. **Фомин Б. Н.** Сукцессионная изменчивость численности и общего разнообразия сообщества мелких млекопитающих пойменного биоценоза // Сукцессии животного населения в биоценозах поймы реки Оби. — Новосибирск: Наука, 1981.
8. **Болотнов В. П.** Составление комплексного показателя воздействия весеннего половодья на биологические ресурсы речных пойм (на примере средней Оби) // Охрана природы. — Томск, 2000.
9. **Адам А. М., Болотнов В. П.** Анализ влияния весенних паводков на структуру населения птиц поймы средней Оби для целей охраны природы. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1982.
10. **Болотнов В. П.** Устойчивость продуктивности популяции ондатры в пойме средней Оби // Биопроductивность и биоценологические связи наземных позвоночных юго-востока Западной Сибири. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988.
11. **Болотнов В. П.** Устойчивость компонентов пойменной экосистемы средней Оби к изменениям половодий // Экология пойм сибирских рек и Арктики. — Томск: SST, 2000.

*Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН, Томск*

*Поступила в редакцию
10 ноября 2005 г.*