

УДК 502.36:556.18:502.63(28)

## **ИНДЕКС БЛАГОПОЛУЧИЯ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ РЕК КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ**

© 2011 А.В. Чернышев

ГОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск

Поступила 18.07.2011

Рассмотрены вопросы получения интегральных показателей, характеризующих способность водосбора формировать условия гидрологического режима территории путем проведения бальной оценки показателей, обеспечивающих экологическое благополучие водных объектов и необходимых условий для охраны здоровья населения и водопользования для последующего районирования территории.

**Ключевые слова:** индекс благополучия, речные водосборы, интегральные показатели, бальная оценка, гидрологический режим.

Реки – важнейший природный ресурс человечества. Они являются и источником пресной воды для населения и промышленности, и транспортными путями, без них невозможно представить себе сельское хозяйство и энергетику, а их долины наиболее благоприятны для заселения людьми. Под влиянием хозяйственной деятельности человека речные экосистемы испытывают чрезвычайные нагрузки, что ведет к ухудшению качества воды, засорению и заилению русел, изменению величины стока. С каждым годом это воздействие становится все сильнее, а на территории России оно уже приняло чрезвычайные формы.

Основными негативными последствиями при антропогенном воздействии на малые и средние речные системы являются: загрязнение воды поллютантами и её неблагоприятное санитарное состояние, снижение полноводности рек или их пересыхание, усиление эрозионной активности вод, аккумуляция твердых продуктов выноса, снижение численности гидробионтов. Для оценки и предотвращения негативных воздействий на речные водосборы необходима комплексная методика, характеризующая условия формирования гидрологического режима территории и качество речных вод, которая бы учитывала как природные условия на водосборе, так и антропогенное влияние (прямое и опосредованное) на водные ресурсы.

На формирование гидрологического режима речных водосборов оказывают влияние различные факторы зонального и а зонального характера. К первым относят климатические и метеорологические факторы, такие как температурный режим, осадки, испарение. Ко вторым можно отнести все факторы подстилающей поверхности, такие как рельеф местности, типы почв, гидродинамическая взаимосвязь поверхностных и подземных вод, а также степень сельскохозяйственной освоенности территории [1, 2].

При низком уровне стока, наблюдающегося в периоды длительного отсутствия дождей или зимой, основную роль играют такие особенности как строение почво-грунтов, лесистость, заболоченность, наличие озер. В периоды половодий и паводков на первое место выходят характеристики лесной растительности водосбора, ландшафтные особенности строения его поверхности, например, степень ее расчлененности постоянными и временными водотоками, наличие очагов задержания поверхностного стока, уклоны, длина рассматриваемой реки и т. д. [3].

Большинство из этих характеристик трудно связать между собой каким-нибудь одним способом подсчета. В связи с этим мы видим необходимость введения системы оценок состояния водосборных бассейнов, которая бы учитывала самые разные особенности, влияющие на формирование гидрологического режима территории. Поскольку каждый речной бассейн высокого порядка является сборным и может быть представлен рядом элементарных водосборов, для выявления условий формирования гидрологического режима территории и их оценки предлагаем использовать цифровой показатель, который по аналогии с определением, используемым в экономике, будет обозначаться термином «Индекс благополучия» ( $I_6$ ) для элементарного водосборного бассейна. Он рассчитывается с помощью бальной системы путем определения показателей, обеспечивающих экологическое благополучие водных объектов и необходимых условий для охраны здоровья населения и водопользования (по ГОСТ 17.1.1.01-77). Таким образом, «Индекс благополучия» элементарного водосборного бассейна – это интегральный показатель, характеризующий способность водосбора формировать условия гидрологического режима территории и объединяющий несопоставимые между собой параметры (такие как лесистость, распаханность, механический состав почв, густота речной сети, озёрность, заболоченность, коэффициент увлажнения, фактор эрозионной роли рельефа, среднее значение нарушен-

ности лесных экосистем, комбинаторный индекс загрязненности воды).

В ходе проведенных исследований нами были рассчитаны индексы благополучия водосборных бассейнов притоков первого порядка р. Сызранки, которая берет свое начало в 4 км к северо-северо-западу от с. Кармалейка Барышского района Ульяновской области и впадает в Саратовское водохранилище у г. Сызрань. Площадь водосборного бассейна реки занимает территорию 4862 км<sup>2</sup> и находится в центральной части Приволжской возвышенности в среднем течении р. Волги между 53° 32' и 52° 56' северной широты и 46° 53' и 48° 28' восточной долготы. Всего Сызранка имеет семь притоков первого порядка.

Определяющими особенностями водного баланса бассейна р. Сызранки являются: однородные физико-географические условия рассматриваемого бассейна, равномерное распределение стока по фазам водного режима (51% приходится на паводок, 49% на межень), смешанное питание рек и благоприятные условия увлажнения с отношением суммы осадков к испарению немного меньше единицы [4].

Для определения показателей, обеспечивающих экологическое благополучие водных объектов и необходимых условий для охраны здоровья населения и водопользования предлагаем воспользоваться бальной системой интегральных оценок, которая, по мнению Е. Б. Лопатиной с соавт. [5], Д. Л. Арманда [6] и др., является универсальным способом измерения и соотношения любых частных показателей. Сам индекс благополучия водосбора определялся арифметической суммой баллов всех оценочных показателей:

$$I_{\sigma} = \sum_{i=1}^n F\sigma_i \quad (1),$$

**Таблица 1.** Шкала оценки влияния облесенности территории

| Процент облесенности водосбора | Интервалы показателя | Балл |
|--------------------------------|----------------------|------|
| 80 – 100                       | 0,8 – 1,0            | 5    |
| 60 – 80                        | 0,6 – 0,8            | 4    |
| 40 – 60                        | 0,4 – 0,6            | 3    |
| 20 – 40                        | 0,2 – 0,4            | 2    |
| 0 – 20                         | 0,0 – 0,2            | 1    |

Механический состав почво-грунтов водосбора обуславливает скорость просачивания воды в подземные горизонты, а также расстояние проходимое водой по склону стокоформирующего комплекса. Песчаные типы почв эффективнее глинистых переводят поверхностный сток во внутрпочвенный, препятствуя тем самым образованию водной эрозии (табл. 3). Высокая степень расчлененности речной сети способствует скорейшему попаданию жидких осадков в поверхностные водотоки и снижению негативных последствий водной эрозии.

где Fб – оценочный показатель i-ого параметра водосбора в баллах.

Для каждого показателя составляются таблицы (табл. 1-10), где каждому интервалу показателя присваивается свой балл в диапазоне от 1 и до 10 (максимум). Диапазон интервалов определяется таким образом, чтобы он включал в себя наименьшее и наибольшее проявление какого-либо изучаемого параметра, при этом количество интервалов определяется общепринятыми градациями самого фактора [7]. При этом для различных физико-географических условий выбираются те параметры, которые оказывают наибольшее воздействие на формирование гидрологического режима.

Лесные экосистемы являются главным регулятором не только гидрологического режима, но и важнейшим фактором перераспределения вещества и энергии в приземных слоях атмосферы. Степень этого влияния зависит от множества факторов: от пространственной структуры леса и его строения, географических и климатических особенностей данной территории. По данным В. В. Рахманова [2], годовой сток малых и средних рек с однородными условиями на всем водосборе находится в прямолинейной зависимости, от лесистости бассейнов (табл. 1). Распаханность открытых участков, не занятых лесом, также напрямую влияет на уровень стока. Основным негативным фактором поверхностного стока является водная эрозия, которая оказывает существенное негативное влияние на состояние почвенного покрова, а во многих случаях разрушает его полностью. Важным средством регулирования поверхностного стока является углубленная пахота, которая способствует лучшему впитыванию почвой влаги, уменьшает поверхностный сток и тем самым ослабляет разрушительное действие водной эрозии (табл. 2).

**Таблица 2.** Шкала оценки влияния распаханности открытых территорий

| Процент распаханности открытых частей водосбора | Интервалы показателя | Балл |
|---|----------------------|------|
| 80 – 100  | 0,8 – 1,0            | 5    |
| 60 – 80   | 0,6 – 0,8            | 4    |
| 40 – 60   | 0,4 – 0,6            | 3    |
| 20 – 40   | 0,2 – 0,4            | 2    |
| 0 – 20  | 0,0 – 0,2            | 1    |

Характер расчлененности можно оценить с помощью коэффициента густоты речной сети (табл. 4).

Влияние озер и прудов на гидрологический режим элементарных бассейнов обусловлено тем, что они, являясь крупными резервуарами, играют буферную роль, накапливая и более равномерно перераспределяя водную массу во времени (табл. 5). Болота оказывают существенное регулирующее влияние на сток рек, аккумулируя, а затем отдавая другим водным объектам, часть выпавших на водосборе осадков. Они играют важную роль в питании

рек, грунтовых вод, являются источником увлажнения окружающих территорий, так как около по-

ловины объема стока с них поступает на эти территории диффузным поток (табл. 6).

**Таблица 3.** Шкала оценки механического состава почв

| Процент почв на водосборе с содержанием физ. глины (частиц $d < 0,01 \text{ мм}$ ) $> 25\%$ | Интервалы показателя | Балл |
|---|----------------------|------|
| 0 – 20  | 1,0 – 0,8            | 5    |
| 20 – 40   | 0,8 – 0,6            | 4    |
| 40 – 60   | 0,6 – 0,4            | 3    |
| 60 – 80   | 0,4 – 0,2            | 2    |
| 80 – 100  | 0,2 – 0              | 1    |

**Таблица 4.** Шкала оценки густоты речной сети территории

| Коэффициент густоты речной сети | Интервалы показателя | Балл |
|---------------------------------|----------------------|------|
| 1,57 – 2                        | 0,90 – 1             | 10   |
| 1,13 – 1,56                     | 0,80 – 0,90          | 9    |
| 0,89 – 1,12                     | 0,70 – 0,80          | 8    |
| 0,63 – 0,88                     | 0,60 – 0,70          | 7    |
| 0,41 – 0,62                     | 0,50 – 0,60          | 6    |
| 0,25 – 0,40                     | 0,40 – 0,50          | 5    |
| 0,13 – 0,24                     | 0,30 – 0,40          | 4    |
| 0,06 – 0,12                     | 0,20 – 0,30          | 3    |
| 0,01 – 0,05                     | 0,10 – 0,20          | 2    |
| 0 – 0,01                        | 0,00 – 0,10          | 1    |

**Таблица 5.** Шкала оценки озёрности территории

| Процент озёрности водосбора | Интервалы показателя | Балл |
|-----------------------------|----------------------|------|
| 5,91 – 10                   | 0,90 – 1             | 10   |
| 3,29 – 5,90                 | 0,80 – 0,90          | 9    |
| 1,69 – 3,28                 | 0,70 – 0,80          | 8    |
| 0,78 – 1,68                 | 0,60 – 0,70          | 7    |
| 0,32 – 0,77                 | 0,50 – 0,60          | 6    |
| 0,11 – 0,31                 | 0,40 – 0,50          | 5    |
| 0,025 – 0,10                | 0,30 – 0,40          | 4    |
| 0,0033 – 0,024              | 0,20 – 0,30          | 3    |
| 0,0002 – 0,0032             | 0,10 – 0,20          | 2    |
| 0 – 0,0001                  | 0,00 – 0,10          | 1    |

**Таблица 6.** Шкала оценки заболоченности территории

| Процент заболоченности водосбора | Интервалы показателя | Балл |
|----------------------------------|----------------------|------|
| $> 35$                           | 0,90 – 1             | 10   |
| 30 – 35                          | 0,80 – 0,90          | 9    |
| 25 – 30                          | 0,70 – 0,80          | 8    |
| 20 – 25                          | 0,60 – 0,70          | 7    |
| 15 – 20                          | 0,50 – 0,60          | 6    |
| 10 – 15                          | 0,40 – 0,50          | 5    |
| 5 – 10                           | 0,30 – 0,40          | 4    |
| 1 – 5                            | 0,20 – 0,30          | 3    |
| 0,1 – 1                          | 0,10 – 0,20          | 2    |
| 0 – 0,1                          | 0,00 – 0,10          | 1    |

Характер увлажнения территории напрямую влияет на формирование гидрологического режима. Он зависит от зональных особенностей территории и определяет направление и интенсивность большинства гидрологических процессов на водосборе.

Для его оценки используется коэффициент увлажнения территории,  $K_v$ . Коэффициент увлажнения может варьировать в широких пределах, при этом нормой считается значение близкое к 1 (табл. 7).

**Таблица 7.** Шкала оценки увлажнения территории

| Коэффициент увлажнения территории, $K_v$ | Характер увлажнения (природная зона)                         | Интервалы показателя | Балл |
|--|--|----------------------|------|
| $> 1$                                    | Избыточное увлажнение (тундра, лесотундра, тайга)            | 1,0 – 0,8            | 5    |
| $\approx 1$                              | Достаточное увлажнение (смешанные или широколиственные леса) | 0,8 – 0,6            | 4    |
| $0,3 < K_v < 1$                          | Увлажнение недостаточное (лесостепь)                         | 0,6 – 0,4            | 3    |
| $0,1 < K_v < 0,3$                        | Скудное увлажнение (полупустыня)                             | 0,4 – 0,2            | 2    |
| $K_v > 0,1$                              | Очень скудное увлажнение (пустыня)                           | 0,2 – 0,0            | 1    |

Геоморфологическое строение рельефа является одной из основных особенностей при формировании гидрологического режима территории. Чем больше уклон земной поверхности, тем выше скорость стекания воды и больше величина поверхностного стока [8]. Показателями крутизны земной поверхности могут быть угол наклона  $a$  и отвлеченная величина - уклон  $i$ , равный  $\text{tg } a$ . Для расчета среднего уклона каждой геосистемы нами была

использована функция зональной статистики применяемая в геоинформационном картографировании (табл. 8).

В условиях лесодефицита на водосборе важную роль в формировании гидрологического режима и качества речных вод играет не только площадь, но ещё и экологическая нарушенность лесных экосистем. От состояния леса зависит его способность выполнять регулируемую гидрологическую функ-

цию на водосборе, поддерживать уровень грунтовых вод, эффективно переводить поверхностный сток во внутриводосборный, защищать почвы от эрозии, выполнять кольматирующую функцию. Для оценки экологического состояния лесных экосистем определяют категорию их нарушенности (для

каждого выдела по отдельности), после чего выявляется средняя нарушенность всего водосбора (табл. 9).

**Таблица 8.** Шкала оценки эрозионной роли рельефа территории

| Форма рельефа земной поверхности | $tg a$      | Градусы | Интервалы показателя | Балл |
|----------------------------------|-------------|---------|----------------------|------|
| Равнинный плоский                | 0 – 0,01    | 0,5     | 1,0                  | 6    |
| Равнинный волнистый              | 0,01 – 0,02 | 0,5 – 1 | 1,0 – 0,8            | 5    |
| Равнинно-холмистый               | 0,02 – 0,07 | 1 – 4   | 0,8 – 0,6            | 4    |
| Холмистый                        | 0,07 – 0,12 | 4 – 7   | 0,6 – 0,4            | 3    |
| Гористый                         | 0,12 – 0,4  | 7 – 24  | 0,4 – 0,2            | 2    |
| Горный                           | 0,4 – 0,7   | >24     | 0,2 – 0,0            | 1    |

**Таблица 9.** Шкала оценки нарушенности лесных экосистем

| Категория нарушенности лесных экосистем | Класс экологической нарушенности | Интервалы показателя | Балл |
|---|----------------------------------|----------------------|------|
| Ненарушенные                            | I                                | 1,0 – 0,8            | 5    |
| Малонарушенные                          | II                               | 0,8 – 0,6            | 4    |
| Средненарушенные                        | III                              | 0,6 – 0,4            | 3    |
| Сильнонарушенные                        | IV                               | 0,4 – 0,2            | 2    |
| Разрушенные                             | V                                | 0,2 – 0,0            | 1    |

Основным фактором, влияющим на качество речных вод в густонаселенных районах, является антропогенное воздействие на водные ресурсы. Реки являются не только источником пресной во-

ды, но и приемником жидких промышленных и бытовых сбросов. Качество природных вод оценивается с помощью индекса загрязненности воды (ИЗВ) (табл. 10).

**Таблица 10.** Шкала оценки загрязненности воды

| Категория загрязненности воды | Класс загрязнения | ИЗВ        | Интервалы показателя | Балл |
|-------------------------------|-------------------|------------|----------------------|------|
| Очень чистые                  | I                 | $\leq 0,3$ | 1,0                  | 6    |
| Чистые                        | II                | 0,3 – 1    | 1,0 – 0,8            | 5    |
| Умеренно загрязненные         | III               | 1 – 2,5    | 0,8 – 0,6            | 4    |
| Загрязненные                  | IV                | 2,5 – 4    | 0,6 – 0,4            | 3    |
| Грязные                       | V                 | 4 – 6      | 0,4 – 0,2            | 2    |
| Очень грязные                 | VI                | 6 – 10     | 0,2 – 0,0            | 1    |

Все отобранные показатели водосборных бассейнов реки Сызранки, оцененные в баллах, представлены в таблице 11. Там же приведены рассчитанные индексы благополучия водосборов рек-притоков.

На основе величины полученного  $I_6$  можно судить об условиях формирования гидрологического режима водосбора любого иерархического уровня. Сравнивая значения индексов благополучия соседних водосборных бассейнов одной физико-географической зоны, по предложению А. А. Онучина [9], можно производить зонирование территории по принципу выделения водоохранных зон и проведения на них лесовосстановительных мероприятий. При зонировании, на наш взгляд, удобно выделять три группы водосборов в зависимости от

величины их индекса благополучия. В первую группу (I) входят водосборы с самым низким  $I_6$ , для которых требуется первоочередное выделение водоохранных зон по индивидуальным проектам, учитывающим особенности стокоформирующих поверхностей, таксационные характеристики и экологическую нарушенность лесных экосистем с соблюдением в них соответствующего режима. Вторая группа водосборов (II) со средним показателем  $I_6$  включает водные объекты, для которых выделение водоохранных зон необходимо провести по истечении 10-летнего периода. Третья группа (III) с высоким показателем  $I_6$  включает все оставшиеся водные объекты, расположенные в слабо освоенных районах.

Таблица 11. Матрица оценочных показателей по водосборам бассейна реки Сызранки

| №  | Наименование реки | Баллы оценочных показателей $F_6$ |   |   |   |   |   |   |   |   |    | $I_6$ |
|----|-------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|
|    |                   | 1                                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |       |
| 1. | Росочка           | 3                                 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 | 4 | 3  | 26    |
| 2. | Темрязанка        | 4                                 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 3 | 5 | 4 | 2  | 28    |
| 3. | Бекшанка          | 2                                 | 2 | 4 | 2 | 2 | 1 | 3 | 5 | 3 | 2  | 26    |
| 4. | Канасаевка        | 3                                 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 5 | 4 | 3  | 26    |
| 5. | Канадейка         | 2                                 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2  | 26    |
| 6. | Томышевка         | 2                                 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 5 | 3 | 2  | 25    |
| 7. | Балашейка         | 2                                 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2  | 22    |
| 8. | Сызранка          | 2                                 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2  | 24    |

Оценочные показатели: 1 – облесенность; 2 – распаханность открытых территорий; 3 – механический состав почв; 4 – густота речной сети; 5 – озёрность; 6 – заболоченность; 7 – увлажнение; 8 – эрозионная роль рельефа; 9 – нарушенность лесных экосистем; 10 – загрязненность воды.

Таким образом, были получены три группы водосборов распределенных по интегральному показателю  $I_6$ , характеризующему способность водосбора формировать условия гидрологического режима. Полученные результаты были использованы для экологического зонирования рассматриваемой

территории. Границы зон проходят по водоразделам рек, поскольку речные водосборы является открытыми геосистемами, имеющими иерархическую структуру, общие потоки вещества и энергии и обладающими способностью к саморегуляции (рис.).



Рис. Схема экологического зонирования бассейна р. Сызранки по интегральному показателю индекса благополучия речных водосборов.

Полученная по результатам зонирования схема позволяет наглядно продемонстрировать характер условий формирования гидрологического режима на речных водосборах бассейна Сызранки. Кроме того, дает возможность объяснить различный характер воздействий негативных природных и ан-

тропогенных процессов, развивающихся на территории данных водосборов. Предложенные схемы зонирования бассейна реки Сызранки могут быть использованы для разработки комплекса необходимых природоохранных мероприятий по охране и восстановлению водоохранных лесов, проведению

лесоустроительных работ, практических рекомендаций по ведению хозяйственной деятельности и повышению эффективности природопользования в бассейне р. Сызранки. Предложенный интегральный показатель, характеризующий способность водосбора формировать условия гидрологического режима территории, может быть широко использован для зонирования речных водосборов разного иерархического уровня по степени их экологической нарушенности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богословский Б.Б.* Основы гидрологии суши. Реки, озера, водохранилища. Минск: Изд. БГУ, 1974. 216 с.
2. *Рахманов В.В.* Водорегулирующая роль лесов // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 153. Л. 1975. 192 с.
3. *Чеботарев А.И.* Общая гидрология (воды суши). Л.: Гидрометеиздат, 1975. 530 с.
4. *Бурлаков В.П.* Реки // Природные условия Ульяновской области. Казань: Изд. Казанского университета, 1978. 328 с.
5. *Лопатина Е.Б., Назаревский О.Р.* Оценка природных условий жизни населения. М.: Наука, 1972. 148 с.
6. *Арманд Д.Л.* Наука о ландшафте: (Основы теории и логико-математические методы). М.: Мысль, 1975. 287 с.
7. *Щербинина С.В.* Интегральные показатели в оценке комплекса природно-хозяйственных условий на речных водосборах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2008. № 2. С. 39-46.
8. *Евстигнеев В.М.* Речной сток и гидрологические расчеты: Учебник. М.: Изд. МГУ, 1990. С. 116-119.
9. *Онучин А.А., Буренина Т.А.* Вода и лес // Основы лесной политики в Красноярском крае. Новосибирск: Изд. Сибирского отделения Российской Академии Наук. 2000. С. 96-127.

### THE WELLBEING INDEX OF CATCHMENT BASINS AS INTEGRAL INDICATOR OF FORMING TERRITORY HYDROLOGIC REGIME

© 2011 A.V. Chernyshev

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk

This article describes how to obtain integral indicators of the ability of watershed to form the conditions of the hydrological regime of the territory by means of ball performance assessment, providing environmental health of water bodies and the conditions necessary to protect public health and water for future zoning.

**Key words:** *index of well-being, river basins, integrated indicators, ball estimate, the hydrological regime.*