

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яцык, А.В. Экологические основы рационального водопользования. – К.: Изд-во «Генеза», 1997. – 640 с.
2. Войтов, И.В. Научные основы рационального управления и охраны водных ресурсов трансграничных рек для достижения устойчивого развития и эколого-безопасного водоснабжения Беларуси / И.В. Войтов; [Науч. ред. Э.И. Михневич]. – М.: Современное слово, 2000. – 475 с.
3. Калинин, М.Ю. Законодательство Республики Беларусь в области водных ресурсов и водная рамочная директива Европейского Союза. Руководство для специалистов / М.Ю. Калинин, А.М. Пеньковская, А.М. Самусенко [Под ред. М.Ю. Калинина]. – Мн.: Арт-Пресс, 2003. – 136 с.
4. Разработать и апробировать систему оценки экологического состояния рек с использованием эталонных показателей: отчет о НИР (заключ.) / Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов; рук. А.П. Станкевич. – Минск, 2008. – 177 с. – № ГР 20063015.
5. Беляев, С.Д. Использование целевых показателей качества воды при планировании водохозяйственной деятельности // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – М.: Издательство ФГУП "Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов". – 2007. – № 3. – С. 3.

Материал поступил в редакцию 22.03.11

PENKOVSKAYA A.M., BULAK I.A. The analysis of an ecological condition of water resources in pool r. Neman and target parameters of quality of waters with use of GIS-TECHNOLOGIES

The technique of an estimation of an ecological condition of water resources is given on the basis of application of the basic principles of the Water Frame Instruction for classification of water objects of pool and target parameters of quality of water. On an example of pool r. Neman with use of GIS-TECHNOLOGIES the card – circuit of an estimation of an ecological condition of water objects is constructed.

УДК 556.5

Волчек А.А., Шешко Н.Н.

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТРАНСФОРМАЦИИ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ
(НА ПРИМЕРЕ ООПТ «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»)**

Постановка проблемы. Беловежская пуца является уникальным памятником нетронутой природы европейского континента, включенным в список всемирного природного наследия ЮНЕСКО, согласно документам которого: «экологическая ценность Беловежской пуцы заключается в том, что на этой территории сохранился древний реликтовый широколиственный лес, который, по сравнению с другими низинными лесами Европы, является мало нарушенным хозяйственной деятельностью человека» [1]. Увеличение интенсивности хозяйственной деятельности требуют все более новых подходов к мониторингу и сохранению заповедных лесных массивов. Беловежская пуца представляет собой крупный массив с наличием большого числа микросистем, имеющих различные биологические и гидрологические характеристики.

Малая гидрографическая сеть является важным компонентом любого природного комплекса, в том числе и Беловежской пуцы, а её состояние – индикатором тенденций к изменениям такого рода комплексов. Малая гидрографическая сеть представляет собой совокупность истоков, малых рек, небольших водоемов естественного и искусственного происхождения. Изучению различных аспектов формирования водных ресурсов и качества воды малых равнинных рек посвящено много исследований [2; 3; 4]. В них рассмотрен ряд общих и региональных закономерностей формирования и методов расчета жидкого, твердого и химического стока, характеристик их хозяйственного использования, намечены пути оздоровления малых рек. По особо охраняемой природной территории «Беловежская пуца» (ООПТ БП) такого рода исследованиями занимались И.В. Толкач, П.Ф. Химин, Б.П. Савицкий и др., результаты изложены в работах [5; 6; 7; 8; 9 и др.].

Как один из элементов природных комплексов можно выделить малые реки с ландшафтами их бассейнов. Формирующие своеобразные «узлы» ландшафта, реки достаточно сильно реагируют на вмешательство различного рода. Это, в свою очередь, приводит к серьезным функциональным изменениям в экосистемах. Учет и анализ данных взаимодействий являются основой при разработке мероприятий по сохранению и восстановлению природной среды (планов управления).

Для решения данных задач требуется подробная информация о состоянии, тенденции изменений, генезисе, структуре ландшафтов. Многими учеными малые реки определялись как своеобразные гео-

системы, состоящие из генетически неоднородных долинно-речных и межречных ландшафтов. Развитие и функционирование ландшафтов ООПТ БП связано с режимом движения русловых потоков и их энергетикой [10; 11]. Проблемы спецификации долинно-речных и межречных ландшафтов уже давно привлекли исследователей [12].

Изменение ландшафтов малых рек ООПТ БП происходит под влиянием естественных и антропогенных факторов.

К естественным факторам трансформации речных бассейнов природно-территориального комплекса относятся геолого-геоморфологические, гидрологические, климатические и др. Из последних наиболее масштабных трансформаций малой гидрографической сети данной территории можно отметить геолого-морфологические преобразования, вызванные воздействием Днепровского и Московского оледенения. Данный факт подтверждают встречающиеся периферийные ледниковые формы рельефа (гряды, холмы и т.д.) среди флювиогляциальных отложений, в которых протекали активные аллювиальные, озерные и болотные процессы, приведшие к появлению заболоченных и плоских озерно-аллювиальных равнин и обширных речных террас. Трансформация, обусловленная карстовыми процессами не характерна для ООПТ БП, так как при анализе геологического разреза по существующим гидрогеологическим створам не выявлено характерных горных пород. Эрозионно-аккумулятивные и оползневые процессы также не характерны для данной территории, в связи с малой врезкой русла рек и значительной шириной поймы.

Одним из наиболее важных факторов трансформации ландшафтов бассейнов малых рек является климат. Влияние его носит разнонаправленный характер. В зависимости от циклов по водности лет (главным образом, многолетних) происходит изменение структурно-динамической организации речных комплексов. В работе [13] представлены изменения водного режима при различных сценариях изменения климата в будущем. Так, согласно данной работе, увеличение температуры воздуха на 2 °С и уменьшение годовых атмосферных осадков на 10 % приведет к снижению речного стока на территории Брестской области на 29,3 %. Наиболее трансформированным будет сток в летние месяцы, что наиболее негативно для малых рек. В отличие от многоводных периодов, в засушливые циклы наблюдается резкое уменьшение поверхностного стока, обмеление пойм и пересыхание постоянных водотоков.

Значительную роль в трансформации гидрографической сети ООПТ БП играют антропогенные факторы, одними из которых были, частичное спрямление русел рек для пропуска паводковых вод, строительство крупных гидромелиоративных систем на прилегающих болотных массивах.

В результате проведения комплекса мелиоративных мероприятий на водосборах рек пущи созданы крупные мелиоративные комплексы (табл. 2). Основным методом мелиорации на данной территории является понижение уровня грунтовых вод открытыми каналами. Для улучшения свойств водоприемника проведены спрямления и профилирование русла рек (р. Лесная, р. Наревка, р. Гвозна, р. Белая и др.). В охранной зоне заповедника находится значительное количество аграрных объединений, земли которых мелиорированы.

Объекты и исходные материалы. В современной науке широко используются геоинформационные системы (ГИС) для анализа различного рода объектов, имеющих географическую привязку. В рамках данного исследования на первом этапе рассматривалось создание подробной ГИС гидрографической сети ООПТ БП. Одним из нормативных документов, которым руководствовались при создании ГИС гидрографической сети является Европейская Рамочная Водная Директива (ЕРВД) (Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy) [14], которая была принята в 2000 году. Этот документ регламентирует подходы в политике охраны, использования и управления водными ресурсами и призван к 2015 г. гармонизировать и унифицировать подходы стран ЕС и других Европейских стран к охране и управлению водными ресурсами.

В основу разработки ГИС гидрографической сети ООПТ БП были положены уже существующие картографические материалы. За прошедшее столетие детальное и наиболее точное картирование проводилось два раза. Впервые это выполнялось в 1930 г. польскими картографами. Состояние гидрографической сети на тот момент можно расценивать как наименее подверженное антропогенному воздействию. В 1984–1988 гг. были подготовлены более новые топографические карты данного района. Эти картографические материалы, благодаря их высокой точности, можно использовать как основу для последующей векторизации объектов. И как наиболее современные данные, использованы космические снимки с наиболее подходящими для выделения гидрографии цветовыми каналами.

Все цифровые данные записывались в базу данных ГИС в географических координатах. Геодезической системой сопоставления использовалась WGS 1984. Такой способ записи дал возможность легко трансформировать данные в новую систему плоских координат. Преобразования в систему плоских координат зачастую необходимо для проведения пространственного анализа. В связи с тем, что территория национального парка расположена на границе географических зон (зона 34 и 35) использование уже существующих зональных проекций невозможно. Для формирования общей карты всего ООПТ БП должны быть использованы плоские координаты, охватывающие всю территорию исследуемого объекта. Наиболее оптимально использование системы координат, которая опирается на проекцию Mercator, для которой принята WGS 1984, как геодезическая система соотнесения. Таким образом, на основе выделенных требований сформирована система координат, имеющая следующие параметры [15]:

- осевой меридиан $L = 24^\circ$ восточной долготы;
- система создает меридиональную полосу между 21 и 27 градусом восточной долготы и охватывает всю территорию ПТК;
- частный масштаб по осевому меридиану 0,9996;
- точка пересечения экватора с осевым меридианом имеет координату $X = 500\ 000$ м, $Y = 0$ м.

Для сопоставления состояния гидрографической сети в различные периоды необходимо унифицировать положение водотоков. С этой целью основой для унификации приняты картографические материалы 1984–1986 гг. Процесс векторизации и классификации водотоков проводился в первую очередь по вышеназванным картам. Применяемая кодировка учитывает порядок водотока по отношению

к основным рекам ООПТ БП. Кроме того, отдельно кодировались каналы. При обработке картографических материалов 1930 г. выполнялось удаление водных объектов (ранее векторизованных по состоянию на 1986 г.) в случае их отсутствия на карте. Для основных рек оцифровка материалов 1930 г. проводилась повторно.

Методы. В настоящее время для дистанционного исследования состояния гидрографической сети используются два основных параметра: извилистость и густота гидрографической сети. Однако, оперируя только этими параметрами, не возможно полностью описать трансформацию гидрографической сети. Так, в некоторых случаях, при значительных изменениях положения русла реки извилистость и густота гидрографической сети не изменяется (рис. 4), что позволяет сделать вывод о недостаточности данных показателей.

Для характеристики формы реки в плане используется коэффициент извилистости русла реки

$$\rho = \frac{L}{l}, \quad (1)$$

где L – длина русла реки основного тальвега; l – расстояние по прямой между истоком и устьем реки.

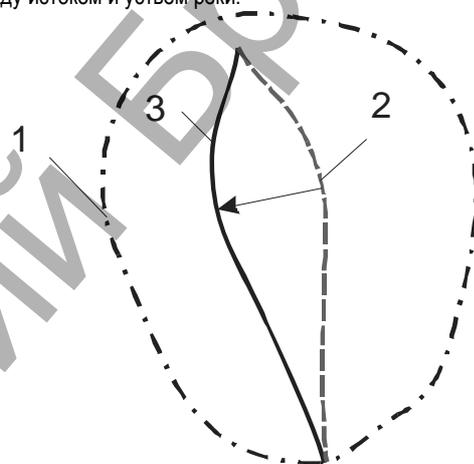


Рис. 4. Схема трансформации гидрографической сети при неизменных показателях её густоты и извилистости: 1 – граница водосборной площади; 2 – положение русла водотока в начальный момент времени; 3 – положение русла реки в настоящее время

Данный показатель применим для характеристики извилистости всей реки. Описание извилистости реки, особенно ее участков, коэффициентом ρ затруднено, вследствие слабой его чувствительности. Данная ситуация характерна для рек, водосбор которых имеет значительную асимметрию. Поэтому, учет асимметрии водосбора даст возможность более достоверно оценить величину трансформации извилистости русла реки. Для чего в формулу (1) вводится поправочный коэффициент ξ

$$\rho' = \frac{L}{l \cdot \xi}, \quad (2)$$

где $\xi = f\left(\sum_i A_{R,i} - \sum_i A_{L,i}, L, l\right)$. Коэффициент прямо пропорционально зависит от разницы суммы правых $\sum_i A_{R,i}$ и левых $\sum_i A_{L,i}$ площадей. При этом, он обратно пропорционален длине русла реки L , а также расстоянию по прямой линии между истоком и устьем реки l . Исходя из этого, можем записать формулу в общем виде для определения ξ

$$\xi = \frac{\left| \sum_i A_{R,i} - \sum_i A_{L,i} \right|}{L \cdot l} \cdot \alpha + 1, \quad (3)$$

где α – коэффициент пропорциональности. Значение коэффициента асимметрии водосбора ξ в случае

$$\left| \sum_i A_{R,i} - \sum_i A_{L,i} \right| \rightarrow 0 \Rightarrow \xi \rightarrow 1.$$

Для определения коэффициента α выполнен анализ формы «элементарного» участка реки, аппроксимированного двумя сторонами равнобедренного прямоугольного треугольника (рис. 5).

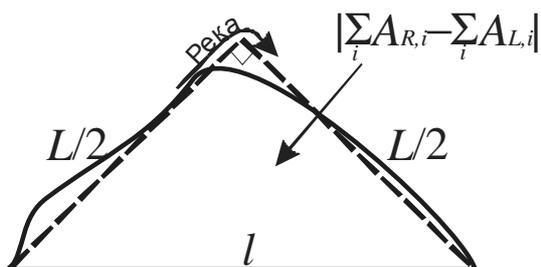


Рис. 5. Схема для определения коэффициента асимметрии русла реки

Таким образом, имеем

$$l = \frac{L}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$\left| \sum_i A_{R,i} - \sum_i A_{L,i} \right| = \frac{L^2}{8}$$

$$\xi = \frac{L^2 \cdot \sqrt{2}}{L \cdot L \cdot 8} \cdot \alpha + 1 = \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot \alpha + 1$$

$$\rho' = \frac{L \cdot \sqrt{2}}{L \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{8} \cdot \alpha + 1 \right)} \Rightarrow \alpha = \frac{(\sqrt{2} - \rho') \cdot 8}{\rho' \cdot \sqrt{2}} \quad (5)$$

Примем значение коэффициента извилистости для данной схемы (рис. 5) равным $\rho' = 1,01$ (т.к. извилистость обусловлена одним поворотом на 90° , значение принято близким к единице), по формуле (5) получили значения параметра $\alpha = 2,26$.

В качестве количественного показателя изменения положения водотоков использовалась величина среднего смещения S_{genl} русла реки на единицу ее длины

$$S_{genl} = \frac{\sum_i A_{R,i} + \sum_i A_{L,i}}{L} \quad (6)$$

где $\sum_i A_{R,i}$ и $\sum_i A_{L,i}$ – сумма площадей фигур образованных пересечением линий русла реки основного тальвега в начальный момент времени (t_0) и текущий момент времени (t) (рис. 6). Индексы R (справа) и L (слева) отображают площади образовавшихся фигур относительно линии русла реки слева и справа по течению за время $t_a - t_b$.

Представим формулу (6) в виде

$$S_{vect} = \frac{\sum_i A_{R,i} - \sum_i A_{L,i}}{L}, \quad (7)$$

получаем величину преобладающего среднего смещения русла реки на единицу его длины. Выполнение условия $\sum_i A_{R,i} - \sum_i A_{L,i} \approx 0$ соответствует частичному спрямлению русла реки.

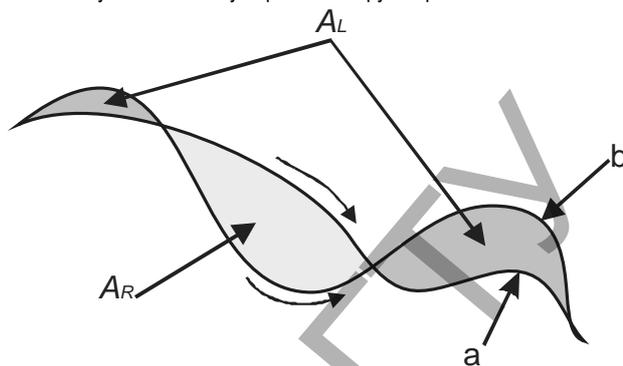


Рис. 6. Расчетная схема смещения русла реки: а – положение линии русла реки в момент времени t_a ; б – положение линии русла реки в момент времени t_b

Результаты исследования и их обсуждение. На основе выше изложенных методов и разработанной ГИС гидрографической сети ООПТ БП выполнен анализ антропогенных воздействий на гидрографическую сеть в пределах основных водосборов (табл. 3). На основе данных, приведенных в таблице 3, построены карты, представленные на рис. 7. Выделяем водосборы рек Нарев, Россь, как имеющие наибольшие значения густоты гидрографической сети на 1930 г. и наименее трансформированные в результате деятельности человека (увеличение густоты гидрографической сети составило менее двух раз). На водосборе р. Зельвянка, имевшем незначительную густоту ($0,116 \text{ км/км}^2$), в результате строительства открытых каналов мелиоративных систем произошло увеличение густоты гидрографической сети на 40 %, что указывает на незначительные изменения в структуре водотоков.

Для водосборов таких рек, как Лесная Левая, Лесная Правая, Наревка, Ясельда выше названные факторы привели к увеличению густоты более чем в четыре раза. При этом данные водосборы на начало века имели наименьшую густоту гидрографической сети. Верховья водотоков рек Наревка и Ясельда находятся в пределах крупных болот Дикий Никор и Дикое соответственно. На основе обобщения полученных данных выделены три зоны по уровню трансформации густоты гидрографической сети. Положение выделенных зон согласуется с расположением наиболее крупных гидро-мелиоративных систем (табл. 2).

Таблица 2. Мелиоративные комплексы водосборов рек ООПТ БП

№ п/п	Бассейн реки	Наименование мелиоративного комплекса
1	Нарева	Колонка - Пчелка
2	Нарева	Дикое - Ясельда
3	Нарева	Тиссовка - Наревка (Дикий Никор)
4	Нарева	Никор (Гвозна)
5	Нарева	Борки - Попелово
6	Лесная Правая	Лесная Правая - Лесная Левая
7	Лесная Правая	Дмитровичский
8	Лесная Правая	Сипурка - Попична

С использованием предложенной нами методики выполнен анализ смещения положения русла (формулы (6), (7)) и трансформации извилистости (формула (2)). Кроме того, в качестве основы для выполнения исследований была использована разработанная ГИС гидрографической сети национального парка. Результаты обработки цифровой информации представлены в табл. 1.

Для р. Ясельда и Лесная Левая частичное спрямление русла привело к смещению его положения в среднем более чем на 110 м.

Степень трансформации участков водосборов отдельных рек представлены в табл. 5. Используя результаты, приведенные в

Таблица 3. Основные реки ООПТ БП и их характеристики

Наименование реки	Площадь участка водосбора, км ²	Площадь озер и водоемов в пределах бассейна, га	Густота гидрографической сети, км/км ²		Увеличение густоты гидрографической сети	Степень трансформации
			на 1930 г.	на 2005 г.		
Зельвянка	888	117	0,116	0,165	1,43	III
Лесная Левая	808	16,1	0,162	0,685	4,22	II
Лесная Правая	893	251	0,159	0,828	5,20	I
Нарев	1119	10	0,212	0,419	1,98	III
Наревка	593	102	0,164	0,913	5,58	I
Россь	119	4,0	0,172	0,230	1,34	III
Ясельда	820	540	0,148	0,662	4,48	II

Таблица 4. Трансформация извилистости участков рек ООПТ БП

Наименование реки	Извилистость участка русла реки (ρ)		Извилистость участка русла реки с учетом асимметрии водосбора (ρ')		Смещение русла реки, м	
	на 1930 г.	на 2005 г.	на 1930 г.	на 2005 г.	среднее S_{genl}	преобладающее S_{vect}
Зельвянка	2,22	2,22	2,03	1,98	86	10
Лесная Левая	2,53	2,36	1,69	1,52	111	103
Лесная Правая	1,29	1,34	1,21	1,26	50	3
Нарев	1,37	1,35	1,37	1,33	52	3
Наревка	1,52	1,47	1,17	1,13	65	51
Россь	1,36	1,33	1,29	1,33	13	11
Ясельда	1,39	1,21	1,37	1,17	385	92

Таблица 5. Анализ результатов оценки основных показателей трансформации гидрографической сети

Наименование реки	Описание результатов	Возможные причины	Группа по уровню трансформации
Зельвянка	Уменьшение извилистости при значительном общем смещении русла и незначительном преобладающем смещении	Спрявление русла без коренных изменений в структуре гидрографической сети	III
Лесная Левая	Уменьшение извилистости при значительной величине общего и преобладающего смещения	Значительное спрявление русла	I
Лесная Правая	Незначительные изменения извилистости и общего смещения русла; преобладающее смещение близко к границе точности векторизации растровых карт	Незначительные антропогенные трансформации	III
Нарев			
Наревка	При значительной асимметрии русла реки произошли незначительные изменения извилистости, обусловленные преобладающим смещением русла	Спрявление русла с правым смещением в среднем на величину около 50 м	II
Россь	Незначительные изменения извилистости и общего смещения русла	Незначительные антропогенные трансформации	II
Ясельда	Значительное уменьшение извилистости реки с наибольшим среди остальных рек общим смещением русла	Коренное спрявление русла реки с сильным, до 100 м, смещением его положения влево	I

табл. 3 и табл. 5, выделены участки водосборов основных рек Беловежской пуццы по степени трансформации их гидрографической сети. На основе количественных показателей применялась группировка для выделения таких водосборов и последующее осреднение результатов обеих вышеназванных таблиц. Используя шкалу, приведенную в табл. 3, выделяем следующие группы водосборов по степени трансформации водосбора: I – сильно трансформированный водосбор; II – умеренно трансформированный водосбор; III – незначительно трансформированный водосбор. Для представления о географии процессов результаты приведены на рис. 7.

Заключение. В настоящей статье рассмотрены современные подходы к анализу процессов трансформации малой гидрографической сети как одного из важнейших элементов экосистем. Показана их недостаточная информативность и необходимость разработки новых методов для количественного описания трансформации малой гидрографической сети. В этой связи, предложены несколько показателей, более полно описывающих состояние гидрографической

сети, к которым относятся: асимметрия водосбора (ξ), смещение русла реки общее (S_{genl}) и преобладающее (S_{vect}). Практическая их применимость и информативность показана на примере анализа состояния гидрографической сети ООПТ БП.

Таким образом, с использованием выше названных параметров были выделены три зоны в пределах ООПТ БП, характеризующие масштабы трансформации гидрографической сети. К первой зоне (сильно трансформированный водосбор) отнесены участки водосборов следующих рек: р. Наревка, р. Лесная Левая, р. Ясельда. Вторая зона (умеренно трансформированный водосбор) – р. Лесная Правая и третья зона (незначительно трансформированный водосбор) – р. Нарев, р. Россь, р. Зельвянка.

Для выделенных зон рекомендуется в целях восстановления естественной гидрографической сети рекомендуются следующие мероприятия:

1. Создать условия для постепенного появления естественного меандрирования спрямленных участков рек.

