

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО ДНЕПРА)

Г.В. Лобанов, Е.А. Сабайда, Б.В. Тришкин, А.Ю. Зверева,
А.В. Полякова, М.А. Новикова, М.В. Коханько

Рассмотрены подходы к оценке природного потенциала малой гидроэнергетики малых и средних рек на примере бассейна верхнего Днепра. Предложены методы получения данных о геоморфологических и гидрологических факторах гидроэнергетического потенциала. Приведена картографическая модель гидроэнергетического потенциала на примере бассейна р. Судость

Ключевые слова: малая гидроэнергетика, цифровая модель рельефа, структура речных систем, бассейн верхнего Днепра

Методология оценки гидроэнергетического потенциала

Одним из способов обеспечения устойчивого развития регионов полагают использование потенциала возобновляемых источников энергии. Их эксплуатация позволяет, во-первых, уменьшить расходы на создание и поддержание коммуникаций энергоснабжения и снизить зависимость малых селитебных и хозяйственных объектов от крупных энергетических станций; во-вторых в некоторой степени предотвратить негативное влияние предприятий «большой энергетики» на окружающую среду. Потенциал возобновляемой энергетики региона определяется сочетанием природных, технических и экономических факторов её развития (Himanshu Nautiyala). Природная составляющая потенциала рассматривается через энергетические характеристики природных процессов. Одной из наиболее значимых составляющих природного потенциала региона представляются энергетические характеристики отдельных водотоков или гидрологической сети территории («гидроэнергетический потенциал»).

Физический смысл природного гидроэнергетического потенциала (**P**) выражается соотношением:

$$P = \rho \times Q \times g \times h \quad (1)$$

где ρ - плотность воды ($\text{кг}/\text{м}^3$), Q – расход ($\text{м}^3/\text{с}$), g - ускорение свободного падения ($\text{кг}/\text{мс}^2$), h - уклон. Модель дополняется поправочными коэффициентами эффективности, величина которых зависит от технических характеристик гидроагрегатов (Kosnik).

Эффективное использование гидроэнергетического потенциала предполагает иерархический подход к его оценке. Достаточная изученность факторов для оценки природного потенциала ограничена уровнем крупных объектов - рек высоких порядков, их бассейнов, административно-территориальных единиц высоких рангов. На уровне рек и бассейнов малых порядков имеющийся объём данных, чаще всего не позволяет выявить пространственные особенности распространения гидропотенциала для определения наиболее перспективных для его освоения объектов. Обоснованные результаты имеются по отдельным водотокам или их участкам, для которых, имеются ряды гидрологических данных, сведения о геолого-геоморфологических особенностях пойменно-русловых комплексов.

Расчёт природного потенциала водотоков высоких порядков используется в обосновании строительства крупных гидроэнергетических объектов, на которые в основном ориентировалось развитие отрасли во второй половине XX века. Достоверность оценки определяется частотой гидропостов и полнотой рядов гидрологических наблюдений для них. Гидрологические характеристики для отрезков течения между гидропостами получают интерполяцией данных.

Водотоки малых порядков считаются перспективными для развития малой гидроэнергетики, которая рассматривается как совокупность энергетических установок мощностью до нескольких десятков мегаватт. Границы диапазона малой гидроэнергетики

устанавливают в зависимости от факторов гидропотенциала территории, типичных мощностей энергетической системы (Petras Punysa). Определение водотоков перспективных для развития малой энергетики представляет научно-прикладную проблему, связанную с двумя ограничивающими обстоятельствами. Во-первых, недостатком фактических данных для расчёта и сравнения величины потенциала по описанной выше модели. Во-вторых, отсутствием альтернативной методики его оценки, основанной на теоретической модели определяющих его величину факторов.

Обеспечение фактическими данными о водотоках малых порядков, по-видимому, относится к отдалённой перспективе развития исследований. Главная проблема связана с недостатком данных о гидрологических характеристиках водотоков. Непрерывные ряды гидрологических наблюдений отсутствуют, имеют значительные перерывы или представлены данными одного гидропоста, что исключает возможность интерполяции характеристик водотоков в пространстве и времени. Использование современных методов инструментальных гидрологических измерений (акустические методы измерения скорости и расхода) существенно расширяет перспективы получения фактических данных, но создаёт проблему сопоставления с результатами, полученными традиционными методами.

Альтернативный подход к оценке природной составляющей гидропотенциала заключается в анализе пространственного распределения факторов, определяющих его величину и выделения перспективных для хозяйственного освоения участков без расчёта абсолютных значений. Перспективным методом в развитии подхода представляется создание и использование пространственных моделей потенциала малой энергетики средствами ГИС-технологий на основании теоретических представлений о значимости факторов и характере их связи с величиной гидропотенциала. Модельной территорией для пространственного анализа геоморфологических и гидрологических факторов гидропотенциала выбран бассейн верхнего Днепра, оценка его величины выполнена для бассейна р. Судость (правый приток р. Десна в среднем течении).

Характеристика объекта исследования

Бассейн верхнего бассейна Днепра расположен в западной части Восточно-Европейской равнины. Территория характеризуется умеренно-континентальным климатом, относится к области избыточного и достаточного увлажнения (лесная зона). Средняя температура января изменяется от -8° на юго-западе до -10° на северо-востоке. Количество осадков изменяется в зависимости от мезоклиматических условий в пределах 500-600 мм, с колебаниями в отдельные годы от 400 до 950 мм. В геоморфологическом отношении территория представляет аллювиально-флювиогляциальную пологоволнистую равнину с преобладающими высотами 100-200 м. Поверхность равнины сложена преимущественно песчано-глинистыми аллювиальными и водно-ледниковыми отложениями и, в меньшей степени, глинистым (моренным) комплексом днепровского оледенения (Рыбальский).

Левобережные притоки бассейна верхнего Днепра относятся к равнинным рекам с меандрирующим морфодинамическим типом русла. Свободным условиям развития горизонтальных деформаций способствует широкая пойма с относительной высотой 3 - 5 м. Поверхность ее осложнена множеством стариц, грив и валов, нередко занята болотами. В долине Десны ширина поймы достигает 4-6 км.

Бассейн р. Судость характеризуется разнообразным геоморфологическим строением. Долина Судости в верхнем и среднем течении разделяет правобережную возвышенную равнину, сложенную с поверхности лессовидными суглинками и левобережную Судость-Деснянскую моренно-зандровую равнину, сложенную флювиогляциальными суглинками и супесями. Строение долины асимметрично, комплекс надпойменных террас (одна – голоценовая, три - плейстоценовые) расположен на левобережье. В нижней части бассейна водораздельные поверхности на обоих берегах образованы аллювиально-зандровыми песчаными равнинами. Площадь водосборного бассейна – 5850 км², 60% приходится на правобережье, 40% на левобережье.

Методы оценки факторов потенциала малой гидроэнергетики

Большая площадь модельной территории и значительный объём картометрических работ определяет целесообразность использования ГИС-технологий для оценки геоморфологических и гидрологических факторов потенциала малой гидроэнергетики.

Методы получения морфологических характеристик рельефа для оценки гидроэнергетического потенциала

Современный уровень точности цифровых моделей рельефа регионального и глобального уровней позволяет обеспечить геоморфологические исследования сведениями о первичных и производных характеристиках рельефа. Пространственное разрешение моделей подбирается в зависимости от специфики решаемой задачи. Известны варианты использования ЦМР с пространственным разрешением от 1 км² для Филиппин до 30 м² для Британской Колумбии (Канада). Наиболее перспективным вариантом с позиций необходимой точности измерений и сопоставимости результатов для разных регионов представляется использование SRTM (SRTM–Shuttle radar topographic mission).

Модель SRTM (Shuttle Radar Satellite Mission) – цифровая модель рельефа поверхности Земли, полученная в результате работы системы 2-х интерферометров, установленных на борту шаттла Эндевор (полет 11-20 февраля 2000 г) (Rabus). Модель получила признание как средство построения цифровых топографических карт, изучения геологического строения поверхности, оценки биомассы сообществ (Sun). Средняя горизонтальная и вертикальная точность передачи поверхности Земли для 90% измерений оценивается соответственно ±20 м и ±16 м (Rabus). Эмпирически подтверждена зависимость величины ошибки от характера рельефа поверхности и особенностей растительности. Ошибка возрастает для местностей с расчленённым рельефом. Проверка точности модели, проведенная для территории аллювиально-зандровой равнины (Брянский лесной массив) подтверждает возможность её использования для оценки геоморфологических факторов развития речной сети

Модель SRTM не включает цифровые модели водотоков, поэтому, в рамках задачи исследования обосновано, в её совместное использование с геоизображениями гидрологических сетей (обычно цифровыми). Положение структурных геоморфологических линий – водоразделов и тальвегов, используемых для получения морфометрических характеристик, определяется программными средствами Global Mapper – специализированного приложения для работы с цифровыми моделями местности. Картометрические средства Global Mapper позволяют в пределах точности модели непосредственно получать информацию о морфологических характеристиках, влияющих на величину гидроэнергетического потенциала – крутизне поверхности водосборного бассейна, уклоне водотока по руслу. Векторные модели гидрологической сети, построенные на основании топографических карт, использованы для идентификации водотоков, определения их порядка, проверки корректности положения структурных линий рельефа. Сведения о морфологических характеристиках водотоков и бассейнов организованы в пространственную базу данных программными средствами приложения MapInfo.

Методы получения гидрологических характеристик для оценки гидроэнергетического потенциала

В моделировании гидрологических характеристик водотоков распространены три подхода. Первый подход – использование теоретических моделей соотношения факторов, определяющих норму стока. Обычно используются количество осадков и характеристики поверхности (шероховатость, водопроницаемость), которые определяют слой стока. Норма стока определяется через среднюю многолетнюю величину осадков и норму испарения (методы вычисления среднего многолетнего стока, основанные на уравнении водного баланса – Кузин, Майер, Будыко); или дефицит влажности (эмпирические формулы Великанова и Соколовского, Полякова (Чалов).

Достоверность расчёта определяется наличием сведений о факторах и площадью бассейна, от величины которой зависит разнообразие физико-географических условий

территории. В наиболее простом варианте бассейны рассматриваются как однородные, что не всегда соответствует разнообразию ландшафтной структуры территории и режиму осадков, в том числе на уровне малых и средних рек. Разнообразие ландшафтной структуры на уровне типов проявляется в бассейнах притоков Верхнего Днепра, начиная со второго порядка (по схеме Хортон-Стралера) (Horton, Strahler). Примерное соотношение типов характеризует ландшафтная структура бассейнов рек Снежеть (длина 86 км, площадь бассейна – 1250 км²) и Навля (длина 125 км, площадь бассейна – 2242 км²), по формальным признакам входящих в группу малых. Снежеть пересекает от истока к устью 3 типа ландшафтов – эрозионные (24,3 км – 28,6 % длины), предполесские (6,3 км – 7,4%) и полесские (54,3 км – 64 %). Навля в верхнем течении пересекает эрозионные ландшафты (46 км – 36,8 % от общей длины течения), в среднем течении разграничивает эрозионные и предполесские ландшафты – 29,2 км (23,36 % длины), ниже – полесские и предполесские на 24,6 км (19,68 % длины); низовья реки расположены в полесских ландшафтах (25,2 км – 20,16 % длины). Условия стока в этих типах ландшафтах существенно различаются. Эрозионные ландшафты представлены возвышенными, эрозионно расчленёнными лёссовыми плато, предполесья и полесья – выровненные или слабохолмистые аллювиально-зандровые равнины. Количество осадков и их многолетний режим различается для пунктов, удалённых на несколько десятков километров и не имеет однозначной связи с типом ландшафта. Неоднородность стокоформирующих факторов и уровень их изученности в бассейне верхнего Днепра ограничивают возможности подхода для определения гидропотенциала отдельных водосборных бассейнов рек малых порядков.

Второй подход построен на использовании метода природных аналогов – экстраполяция известных значений слоя стока на соседние территории. В этом случае большую значимость приобретает проблема обоснования подобия бассейнов. Нормативный документ СП 33-101-2003 предлагает следующие требования к выбору рек-аналогов: географическую близость; однотипность гидрографов и условий формирования стока, в том числе климатических; сходство геолого-геоморфологических, почвенных особенностей, ландшафтной структуры бассейнов; отсутствие факторов, искажающих естественный сток (регулирование, сбросы воды, изъятие на орошение и другие нужды); морфологическое подобие организации речной сети, выраженное как:

$$L / A^{0,56} \approx L_a / A_a^{0,56} \quad (2); \quad J A^{0,50} \approx J_a A_a^{0,50}, \quad (2)$$

где L и L_a – длина исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км;

J и J_a – уклон водной поверхности исследуемой реки и реки-аналога, промилле;

A и A_a – площади водосборов исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км².

(СП33)

Ограничения в применении подхода связаны с фрагментарной подробной изученностью верхних звеньев эрозионной сети и уникальностью параметров водотоков и физико-географических условий бассейнов, особенно крупных порядков. Показатели подобия, которые возможно определить однозначно – морфометрические характеристики водотоков и бассейнов рассчитаны средствами модели SRTM для 67 водотоков бассейна р. Судость – крупного притока р. Десна. Значения показателей (2) и (3) существенно различаются даже в пределах одного порядка (Табл. 1):

Таблица 1

Показатели морфологического подобия водотоков в бассейне р. Судость

Показатели	Порядок водотока, диапазон значений показателей (количество водотоков)			
	1 (22)	2 (33)	3 (10)	4 (2)
$L / A^{0,56}$	0,4-1,7	0,5-1,9	0,5-1,7	1,0-1,7
$J A^{0,50}$	5,5-40,9	10,7-37,5	20,2-38,0	31,7-53,7

Вариация значений морфометрических показателей рек одного порядка объясняется влиянием энергии рельефа на типичные значения площади водосбора и длины рек одного порядка. На участках с большой энергией рельефа реки, дренирующие небольшую территорию, имеют высокий порядок. На выровненных поверхностях небольшой порядок имеют сравнительно крупные водотоки. Морфометрическое подобие, таким образом, обосновывает и сходство гидрологических характеристик.

Третий подход – расчёт стока рек малых порядков по известным гидрологическим характеристикам более крупных водотоков. В случае доказанной связи гидрологических характеристик крупных рек и притоков допустимо восстановить пропущенные участки рядов данных или при отсутствии сведений организовать краткосрочные наблюдения. Подход теоретически обоснован законами строения речных сетей, которые описывают отношения морфологических и гидрологических характеристик водотоков разных порядков. Возможным, но не единственным случаем организации речной сети является постоянство соотношений морфометрических и гидрологических характеристик водотоков разных порядков, которое справедливо для бассейнов с однородными физико-географическими условиями.

Для водосборных бассейнов с относительно однородными физико-географическими условиями установлено постоянство соотношений количества водотоков, их средних длин и площадей для соседних иерархических уровней (порядков). Формальное описание соотношений впервые предложено Р.Е. Хортоном и в дальнейшем получило развитие в работах Философова, Стралера и др. постоянство коэффициентов бифуркации (3), коэффициентов длин (4) и коэффициентов площадей (5):

$$R_B = Nw - I/Nw, \text{ где } N - \text{ количество водотоков, } w - \text{ их порядок (3);}$$

$$R_L = Lw - I/Lw, \text{ где } L - \text{ средняя длина водотоков (4);}$$

$$R_A = Aw - I/Aw \text{ где } A - \text{ средняя площадь бассейна водотоков (5);}$$

Физическое обоснование соотношений представлено теоретической моделью развития эрозионной сети, предложенной Хортоном, которая предполагает размыв однородной поверхности с некоторым постоянным значением прочностных характеристик, меньшим чем энергия потока. Водотоки формирующейся гидросети, связаны отношениями приток-главная река последовательно. Таким образом, притоком реки порядка n , может быть только водоток порядка $n-1$. Средние морфометрические характеристики водотоков малых порядков могут быть получены из показателей водотоков высоких порядков.

Перспективы получения зависимостей гидрологических характеристик и порядков водотоков ограничены возможностью фактического подтверждения. Современная система наблюдений позволяет сопоставить характеристики стока за ограниченные промежутки времени для небольшого количества гидропостов на разных отрезках течения в разных физико-географических условиях. Предварительные выводы для бассейна верхнего Днепра (Десна в среднем течении и главные притоки), тем не менее, подтверждают возможность ориентировочно оценить величину среднемноголетних расходов притоков по характеристикам главной реки с учётом некоторых ограничений.

С одной стороны, расходы Десны и её главных притоков разных порядков образуют немонотонную последовательность (табл. 2). Притоки сгруппированы по значениям их отношений к стоку Десны, с учётом поправки на разное положение гидропостов по отношению к отрезкам течения. Многолетняя динамика средних расходов Десны и притоков хорошо согласуется (коэффициент корреляции – 0,84).

Таблица 2

Соотношение среднемноголетних расходов р. Десна и её главных притоков по данным гидропостов (расход р. Десна принят за единицу)

Отношение расход Десны / Расход притока	1/11-1/19	1/40-1/60	1/180-190
Главные притоки	Снов, Болва, Судость	Ветьма, Навля, Нерусса	Снежеть

С другой стороны, соотношения средних расходов отдельных притоков и Десны непостоянны и по-разному изменяются относительно средних величин. В многоводные годы прирост расходов некоторых притоков обычно опережает прирост стока главной реки, а в маловодные годы снижается интенсивнее (Снов). Сток других притоков медленнее увеличивается в многоводные годы и уменьшается в маловодные (Болва, Ветьма). Закономерности получены корреляцией стока главной реки и его соотношения со средним расходом притоков. Отмеченные закономерности имеют вероятностный характер (наибольшие значения коэффициента корреляции – около 0,7) и для некоторых притоков (Навля, Снежеть, Судость) четко не проявляются. По-видимому, это объясняется особенностями ландшафтной структуры бассейна. Болва и Ветьма протекают по залесённой части бассейна, в которой колебания стока сглажены, Снов - по сельскохозяйственно освоенной территории с фрагментарными остатками лесных массивов. Ландшафтная структура в бассейнах Навли, Снежети, Судости характеризуется чередованием агроландшафтов с относительно слабо затронутыми хозяйственной деятельностью вторичными лесными массивами.

С учётом отмеченных ограничений, перечисленные методы использованы для оценки гидропотенциала бассейна р. Судость.

Балльная методика оценки гидропотенциала (на примере бассейна р. Судость)

Недостаточная обеспеченность данными для расчёта гидропотенциала по фактическим данным обосновывает использование метода балльной оценки на основе теоретической модели определяющих его факторов. Подход использован для создания пространственной базы данных гидропотенциала бассейна р. Судость.

Величина потенциала определяется в предложенной модели порядком водотока (F1), средними уклонами русла (F2) и поверхности бассейна (F3). Последний показатель косвенно выражает слой стока в бассейне, величина которого определяется количеством осадков и уклоном территории. Обеспеченность метеорологическими данными не позволяет дифференцировать бассейны разных порядков по количеству осадков, в отличие от среднего уклона поверхности, который определяется средствами алгебры карт из модели SRTM. Значение потенциала (P) рассматривается как произведение факторов, выраженное в баллах:

$$P=F1 \times F2 \times F3 \quad (4)$$

Принцип присвоения баллов порядку водотока основан на соотношении расходов рек разных порядков в бассейне верхнего Днепра. Значения баллов образуют геометрическую прогрессию со знаменателем 3,5, первому притоку присвоено значение 1, для упрощения расчёта значения округлены. Ряды значений уклонов (водотока и бассейна) разделены на группы методом иерархического кластерного анализа, которым сопоставлены баллы, возрастающие в арифметической прогрессии (Табл. 3).

Таблица 3

Балльная оценка факторов гидроэнергетического потенциала

<i>Порядок водотока</i>				
<i>значения</i>	1	2	3	4
баллы	1	3,5	12	43
<i>Уклон водотока по руслу, м/км</i>				
Значения	<2,5	2,5-5	5-10	>10
Баллы	1	2	3	4
<i>Уклон поверхности бассейна, м/км</i>				
Значения	<25	25-45	45-65	65-85

Баллы	1	2	3	4
-------	---	---	---	---

Пространственная модель состоит из серии слоёв, содержащих объекты – полигоны с одинаковым порядком водосборного бассейна, определённым по методу Хортон-Стралера. Подход обеспечивает пространственный анализ гидропотенциала на уровне отдельных порядков и речной системы в целом. Вариант графической модели гидропотенциала, для некоторой части бассейнов представлен на рис. 1. Порядок бассейна соответствует порядку главного водотока.

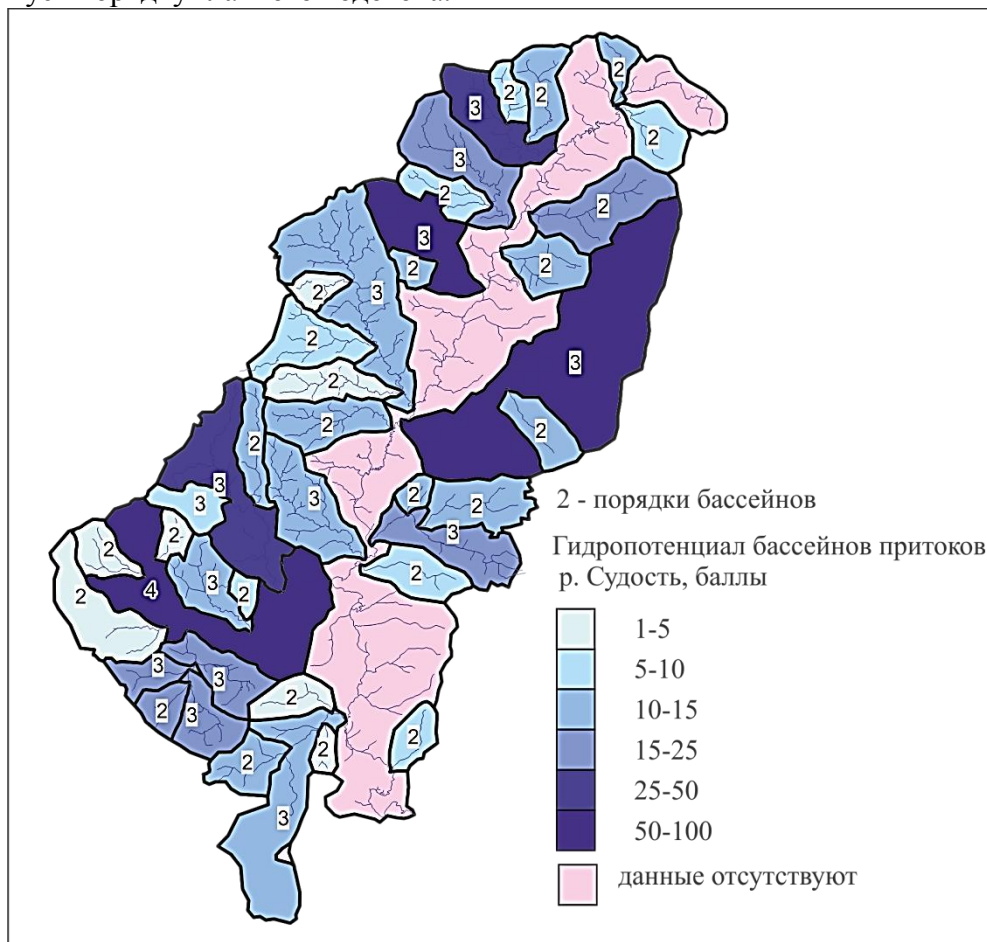


Рисунок – 1 Гидропотенциал некоторых притоков р. Судость

Особенности распределения гидропотенциала следуют двум закономерностям. Во-первых, его величина в целом возрастает с увеличением порядка водотока. Максимальным гидропотенциалом обладает самый крупный приток Судости – р. Вабля (4 порядок, 85 баллов), минимальным – притоки 2-го порядка. Для 26 объектов 2-го порядка, представленных на графической модели 14 имеют значение гидропотенциала до 10 баллов. Во-вторых, его величина зависит от геоморфологических особенностей территории. В зависимости от уклона поверхности значения потенциала могут быть выше или ниже характерных для данного порядка значений (табл. 4).

Таблица 4

Распределение значений гидропотенциала в зависимости от порядка водотока

Баллы гидропотенциала	Порядок водотока			
	1	2	3	4
1-5	23	7	1	
5-10	3	7	4	
10-15	1	10	5	
15-25		2	2	

25-50			2	
50-100				1

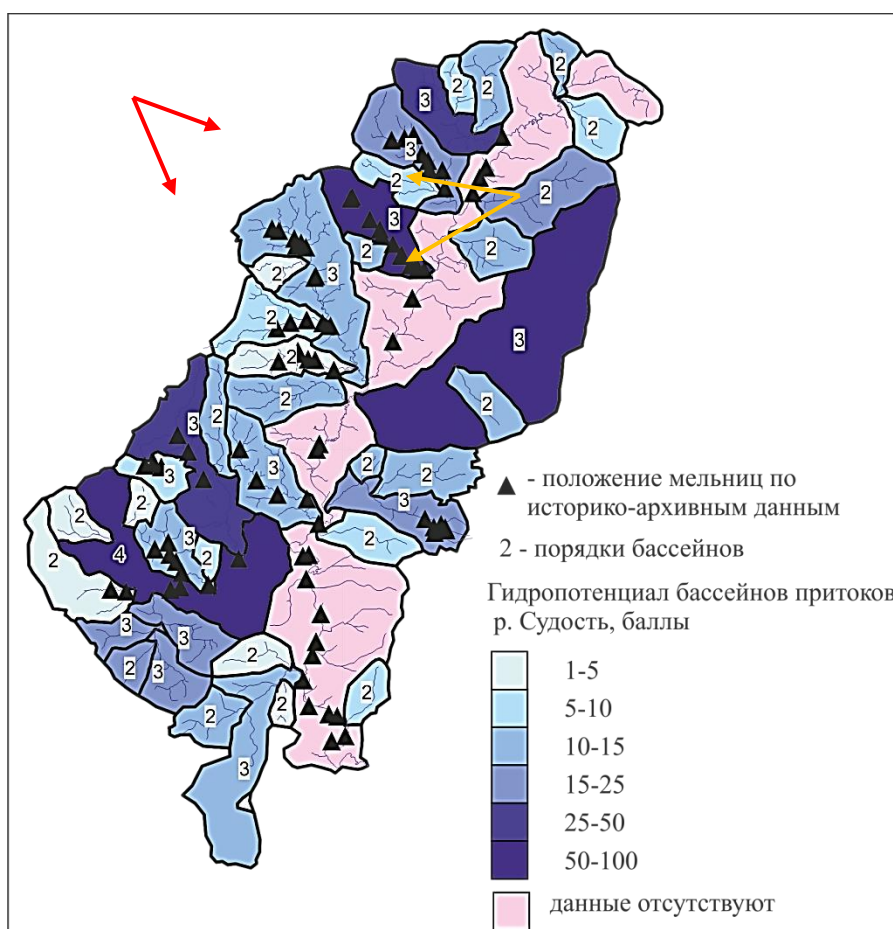


Рисунок- 2. Расположение водяных мельниц в бассейне р. Судость по историко-архивным данным (дополнительные пояснения в тексте)

Особенности распределения гидроэнергетического потенциала подтверждаются историко-географическим анализом использования гидроресурсов территории. Отдельный слой пространственной модели образуют сведения о положении водяных мельниц в 17-18 веке, установленные по историко-архивным материалам и планам генерального межевания (рис. 2) (Лазаревский, ПГМ). В основном мельницы располагали на главной реке (Судость) с максимальным гидропотенциалом. Значительное количество мельниц существовало на притоках 2-3-го порядка с высоким гидропотенциалом, в основном на правом берегу Судости, в частности на сравнительно небольших реках Пес (10) и Уса (7) (красные стрелки на рис 2). На использование гидропотенциала, как и в настоящее время влияли экономические факторы. Потенциал левобережных притоков оказался практически невостребованным вследствие особенностей освоения региона. Бассейны рек Рожок, Крупец (оранжевые стрелки на рис. 2) представляли в 17-18 веке территорию, удалённую от административных и хозяйственных центров (Стародуб, Чернигов) и практически не осваивались.

Выводы

Существующая сеть сбора гидрометеорологических данных обеспечивает данными расчётные модели стока и энергетического потенциала только крупных водотоков. Их формальное использование для рек малых порядков обеспечивает неопределённые результаты. С одной стороны их динамика может совпадать с динамикой главной реки, с другой – изменяться рассогласованно. Расчётные модели гидрологических характеристик по стоку главной реки или осадкам неустойчив – в некоторых случаях обеспечивает

необходимую точность, в некоторых будет существенно отличаться.-Обоснован подход к оценке гидроэнергетического потенциала по теоретической модели соотношения факторов, с учетом особенностей территории. Лучшую обеспеченность имеют морфологические характеристики гидросети и бассейна, по которым косвенно оцениваются гидрологические характеристики. Эффективным инструментом анализа гидропотенциала представляются геопространственные базы данных, включающие сведения о его величине и значениях определяющих факторов. Графические модели, созданные средствами ГИС-технологий, позволяют оценить особенности территориального распределения природного гидропотенциала, определить участки перспективные для его хозяйственного освоения. Учёт экономической составляющей гидропотенциала обеспечивается включением в модель слоёв с информацией о хозяйственных объектах.

Approaches to the assessment of the natural potential of small hydropower for small and medium rivers on the example of the upper basin of the Dnieper are reviewed. Methods of obtaining data on geomorphological and hydrological factors hydropower potential are proposed. Cartographic model of the hydropower potential on the example of river Sudost catchment is provides.

Key words: *small-scale hydropower, digital elevation model, the structure of river systems, the upper Dnieper catchment.*

Список литературы

1. Himanshu Nautiyala, S.K. Singalb, Varun, Aashish Sharma Small hydropower for sustainable energy development in India // Renewable and Sustainable Energy Reviews – 2011 – vol. 15 P. 2021–2027.
2. Kosnik L. The potential for small scale hydropower development in the US // Energy Policy - 2010 vol. 38 P. 5512–5519
3. Petras Punysa, Bernhard Pelikan Review of small hydropower in the new Member States and Candidate Countries in the context of the enlarged European Union // Renewable and Sustainable Energy Reviews 2007 –vol 11 P. 1321–1360
4. Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации. Центральный федеральный округ. Брянская область / Администрация Брянской обл.; под ред. Н. Г. Рыбальского, Е. Д. Смотесова, А. Г. Митюкова. - М.: НИИ-Природа, 2007.
5. Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., Bamler, R. The shuttle radar topography mission — a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing – 2006 -v. 57 (4), P. 241–262.
6. Sun G. , Ranson K.J., Kharuk V.I. , Kovacs K. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter // Remote Sensing of Environment – 2003 – vol.88 P. 401–411
7. Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Am. Bull., 56: 275-370
8. Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geolog. Sec. Am. Bull., 63: 1117-1142.
9. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., 2003. – 83 с.
10. Лазаревский Ал. Описание Старой Малороссии. Материалы для истории заселения, землевладения и управления Том первый. Полк Стародубский Киев Типография К.И. Милевского, Прорезная улица, дом Гофмана, 10-й. 1888

Об авторах

Лобанов Г.В. – кандидат географических наук, доцент, кафедра экологии и рационального природопользования, Брянский государственный университет имени акад. И.Г. Петровского, lobanov_grigorii@mail.ru.

Сабайда Е.А. – кандидат географических наук, ОАО «Волжский подводник».

Тришкин Б.В. – кандидат биологических наук, профессор кафедры управления и

информационных технологий, Московский психолого-социальный университет (Брянский филиал), *pyramyd@mail.ru*.

Зверева А.Ю. – аспирант кафедры географии и землеустройства, Брянский государственный университет имени акад. И.Г. Петровского (Брянск), *zverek1206@mail.ru*.

Полякова А.В. – НИЛ «Информационные технологии в естественных науках», Брянский государственный университет имени акад. И.Г. Петровского, *slavyanka56@mail.ru*.

Новикова М.А. – лаборант-исследователь, НИЛ «Информационные технологии в естественных науках», Брянский государственный университет имени акад. И.Г. Петровского, *nov3517@mail.ru*.

Коханько М.В. – лаборант-исследователь, НИЛ «Информационные технологии в естественных науках», Брянский государственный университет имени акад. И.Г. Петровского, *kohanko88@mail.ru*.