

УДК 532.5

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА ТОМИ

Вершинина Ирина Павловна,

ipvershinina@rambler.ru

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Актуальность работы состоит в заинтересованности отдельных регионов страны и экономики России в целом в скорейшем внедрении относительно малозатратных при строительстве и последующей эксплуатации, а также экологически менее опасных, чем крупные гидротехнические сооружения, малых- и микрогидроэлектростанций для выработки электроэнергии из потенциальной гидравлической энергии небольших потоков. Новизна исследования заключается в расчёте гидроэнергетического потенциала некоторых малых рек бассейна Томи (реки с площадью водосбора менее 2000 км²), как доказательство реальной возможности стабильной круглогодичной эксплуатации малых и мини-ГЭС в сибирских регионах, сооружённых на малых водотоках.

Цель работы: всестороннее исследование факторов и условий, благоприятно и негативно влияющих на возможность использования гидроэнергетического потенциала небольших поверхностных водотоков, расположенных на территории Западной Сибири, на примере расчёта энергетического потенциала малых притоков Томи, как источников постоянно возобновляемой гидравлической энергии.

Методы исследования: сравнительно-географический при оценке гидроморфологических характеристик рек, математический при расчёте среднего многолетнего годового стока исследуемых водотоков и их потенциальной энергетической мощности, аналитический и обобщающий при выполнении выводов.

Результаты. Выявлено, что территория бассейна Томи по географо-гидрологическим характеристикам имеет отдельные, наиболее перспективные участки для успешного развития малой энергетики. Расчётами подтверждена реальная возможность стабильного всесезонного использования энергетического потенциала не крупных водотоков на сибирской территории. Повсеместное строительство малых гидроэлектростанций, в отличие от их широкого применения в развитых зарубежных странах, в России сдерживается слабой законодательной базой в области использования альтернативных источников энергии.

Ключевые слова:

Расход воды, возобновляемые источники энергии, малые реки, гидроэнергетический потенциал, малая гидроэнергетика.

Введение

Прогресс цивилизации неразрывно связан с потребностью общества в бесперебойной работе электрических приборов, человечество постоянно нуждается в электроэнергии, и объёмы её потребления ежегодно возрастают.

В сложившихся социально-экономических и природных условиях: уменьшения запасов невозобновляемых энергоресурсов (нефть, газ, уголь); увеличения негативных экологических последствий развития крупной энергетики при сохранении традиционной структуры топливно-энергетического баланса (ТЭБ), преобладании загрязняющих видов топлива, применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) может значительно облегчить ресурсную и экологическую напряжённость в отдельном регионе и мире.

Во многих передовых странах (США, Китае, Японии, Германии) с 70-х гг. XX века стали переориентировать традиционные технологии на выработку энергии из нетрадиционных источников (биомассы, отходов производства животноводства, солнечной, ветровой и гидравлической энергии, причём строительства преимущественно малых и мини-ГЭС). Начиная с 2015 г. себестоимость электроэнергии, полученной за счёт ВИЭ, станет меньше себестоимости электроэнергии, вырабатываемой из невозобновляемых ресурсов [1].

В Германии реализуется проект *Energiewende*, в результате реализации которого предполагается,

что доля возобновляемых источников энергии в энергобалансе страны должна вырасти при одновременном прекращении использования ядерной энергетики и ископаемых источников до 80 % от общего производства и до 60 % от общего потребления к 2050 г. [2].

Одним из основных стратегических документов, определяющих общеевропейскую политику на текущем этапе, является стратегия «20-20-20». Название стратегии расшифровывается так: к 2020 г. уровень выбросов углекислого газа в атмосферу, по сравнению с уровнем 1999 г., должен сократиться на 20 %, доля энергии из возобновляемых источников в общей структуре энергопотребления – вырасти на 20 %, а общие затраты энергетики – сократиться на 20 %. В некоторых странах Европы (Германии и Скандинавии) такие показатели уже выше [3].

Потребление энергии на основе ВИЭ, по данным за 2012 г., в США составляет 21,4 % от мирового потребления, в Китае – 13,4 %, Германии – 10,9 %. В России значение показателя потребления энергии на основе ВИЭ составляет всего 0,1 % от общемирового показателя [4].

«Многочисленные преимущества малой гидроэнергетики: относительно низкий уровень инвестиционного капитала, немногочисленные строительные работы, упрощённое содержание и эксплуатация, минимальное воздействие на окружающую среду, пригодность для развития малых ги-

дрозлектростанций, размещённых вразброс в сельских и отдаленных районах, – привлекли особое внимания со стороны мирового сообщества. Малая гидроэнергетика быстро развивается во многих странах, внося важный вклад в удовлетворение ежедневного спроса на электроэнергию, снижение уровня бедности и улучшение социально-экономической ситуации.

Китайское правительство уделяет приоритетное внимание разработке и использованию гидроэнергетики, а также другим возобновляемым источникам энергии. После многих лет усилий установленная гидроэнергетическая мощность Китая составляет 249 ГВт, обеспечивая стране мировое первенство в данной области. Значительную часть указанной мощности составляет малая гидроэнергетика. В стране установлено 45 000 станций с годовой производительностью и установленной мощностью 65 ГВт, что составляет 27 % установленной гидроэнергетической мощности в стране и 25 % производимой электроэнергии» [5, с. 3].

В отдельных странах достигнуто предельно максимальное использование доступного гидроэнергетического потенциала: в Италии, Франции, Швейцарии – 96–98 %, в Германии – 86 %; в США – 82 %; в Японии – 90 % [6].

В России с начала XX века развитие гидроэнергетики направлено на строительство крупных гидроэлектростанций (ГЭС). К 1932 г., согласно плану, Государственной комиссией по электрификации России (ГОЭЛРО) введены в эксплуатацию 32 крупных ГЭС. К 1950 г. в СССР насчитывалось 6500 малых и микроГЭС. В дальнейшем государство поддерживало строительство только гигантских энергетических объектов. К 2000 г. страна получала энергию от таких крупных ГЭС, как Братская – 4,5 млн кВт, Красноярская – 6 млн кВт, Саяно-Шушенская – 6,4 млн кВт, и др. [7]. На этом фоне малая гидроэнергетика (МГЭ) отошла на второй план. Производственный потенциал электроэнергетической отрасли России к началу третьего тысячелетия составлял более 700 электростанций с общей установленной мощностью свыше 215 млн кВт, из которых около 70 % – тепловые электростанции, 20 % – гидравлические и 10 % – атомные [8].

В последнее время, по ряду социально-экономических и экологических причин, интерес к развитию малых и мини-ГЭС снова возрос, особенно после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 г., которая привела не только к разрушению материальных объектов и природно-техногенных комплексов, но и к гибели 75 человек. Малая гидроэнергетика экологически более безопасна и не способна привести к таким трагическим авариям.

Физико-географическая характеристика территории исследования

Бассейн реки Томи преимущественно расположен в Кузнецко-Салаирской горной области гор

Южной Сибири и поэтому имеет сложное орографическое строение. Более 2/3 площади бассейна занято горами (Кузнецкий Алатау, Горная Шория, Салаирский кряж, Тарадановский кряж), которые окаймляют Кузнецкую котловину. Кузнецкий Алатау составлен группой разноориентированных с неправильными очертаниями отдельных хребтов, гряд и массивов, ограниченных разломами, возникших в результате действия неотектонических процессов и эрозии ветра. С юга на север высота вершин хребтов Кузнецкого Алатау постепенно уменьшается от более чем 2000 м (безымянная вершина на хребте Кара-Таш – 2217 м) до 1871 м в бассейнах рек Верхняя и Средняя Терсь и до 1450 м в истоках реки Нижняя Терсь (гора Большой Таскыл – 1448 м), а у северной окраины опускается до 200–300 м на Томь-Яйском междуречье.

Рельеф Горной Шории, возвышенного плато, меняется от среднегорного с абсолютными отметками водоразделов 900–1200 м до низкогогорного, расчленённого глубокими руслами рек, водоразделы которых находятся на высоте 600–700 м.

Салаирский кряж представляет собой невысокую возвышенность с волнистым равнинным рельефом, сильно расчленённую эрозией. Средняя абсолютная высота кряжа не превышает 420–450 м, при выходе на Западно-Сибирскую равнину высоты Обь-Томского междуречья доходят до 130 м [9, 10].

Кузнецкая котловина – это межгорная впадина с всхолмленной поверхностью, расчленённой сетью рек. Равнинный характер внутренних частей её нарушается рядом горных кряжей (Тарадановский увал, Салтымаковский кряж, Караканские горы и др.). Средние высоты составляют около 450 м на юге и 250 м на севере. Густая сеть речных долин и балок придаёт поверхности котловины увалисто-холмистый характер [11].

Общая протяженность реки Томи составляет 827 км, в неё впадает 26 064 самых малых и малых рек (длиной от менее 10 до 100 км). Уклон водной поверхности рек изменяется от 12,0 ‰ в верховьях до 1,0 ‰ в низовьях [12].

По характеру водного режима притоки Томи относят к рекам алтайского типа с весенним (р. Ускат – с. Красулино и р. Лебяжья – с. Безменово) и весенне-летним половодьем и паводками в тёплое время года. Сток весеннего половодья составляет 65–90 % от годового, в летне-осенней период – от 5 до 25 %, на зимний сток приходится не более 10 % от годового. Максимальные расходы и уровни воды отмечаются в половодье.

Начало половодья приходится на конец апреля – начало мая. Основным источником питания рек в период половодья являются талые твёрдые осадки, аккумулируемые на водосборе в зимний период, которые формируют 55–75 % годового стока. Увеличение слоя стока и периода половодья происходит за счёт выпадения на спаде половодья жидких атмосферных осадков. После прохождения половодья, в мае–июне, на всех реках устана-

вливается летне-осенний период, в котором часто наблюдаются дождевые паводки. Наименьшие расходы за летне-осенний период наблюдаются в августе-сентябре.

Водный режим рек в период зимней межени, продолжительность которой доходит до 190 суток, тесно связан с ледовым режимом рек и динамикой грунтовых вод. Наименьшие расходы и уровни воды, как правило, наблюдаются в конце зимней межени.

Средний многолетний годовой модуль стока уменьшается с юга на север бассейна Томи от 20 до 5 л/(с·км²) и с востока на запад от 40 до 5 л/(с·км²) [13].

Годовой сток сильно меняется год от года. Колебания стока носят циклический характер с преобладанием циклов 10–12-летней продолжительности. Коэффициенты вариации стока уменьшаются с севера на юг и с запада на восток от 0,50 до 0,15.

Внутригодовое распределение стока на реках бассейна р. Томи характеризуется максимальным стоком в период весеннего половодья, в апреле-мае. В сентябре-октябре практически на всех реках бассейна р. Томи наблюдается увеличение стока, связанное с выпадением осадков.

Возможности создания и/или использования геометрического напора воды (ΔH) для выработки энергии зависят от перепадов высот, то есть рельефа местности, определяющего продольные уклоны рек на разных их участках. Реки имеют изломанную форму продольного профиля. Выпуклости продольного профиля обычно приурочены к участкам, где река пересекает поднимающиеся тектонические структуры [11]. Уклоны малых рек высокие.

Расчёт гидроэнергетического потенциала малых рек в бассейне Томи

Энергия потока рек в естественном состоянии расходуется на преодоление сил трения между частицами воды внутри самого потока и между потоком и его ложем. Внешне работа рек проявляется в размывах русел, переносе взвешенных наносов и перекатывании по дну частиц гравия, гальки, камней.

На любом исследуемом участке реки работа водного потока определяется действием силы тяжести, точнее её проекцией по направлению движения, следовательно, совершаемая водой работа определяется разностью уровней воды в начале и конце рассматриваемого участка реки. При разности уровней ΔH (м), длине участка L (м) и среднем на выбранном участке реки расходе воды Q (м³/с) мощность водотока N (Вт) рассчитывается по следующим формулам [9]:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H = 9810 \cdot Q \cdot \Delta H, \quad (1)$$

где N – мощность водотока, кВт; ρ – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с², или

$$N = 3,81 \cdot Q \cdot \Delta H. \quad (2)$$

За расчётный промежуток времени (τ , с) работа (A , кВт·ч), совершаемая водотоком, определяется по формуле

$$A = \Theta = \frac{9,81 \cdot Q \cdot \Delta H \cdot \tau}{3600} = \frac{W \cdot \Delta H}{367}, \quad (3)$$

где $W = Q \cdot \tau$ – объём стока за определённый временной интервал, м³.

При расчёте полезной мощности и выработки электроэнергии в формулах (1)–(3) учитывают коэффициент полезного действия η , который представляет собой отношение отдаваемой и приводимой мощностей.

По формуле (2) рассчитываются теоретически возможные потенциальные гидроресурсы, которые могут быть использованы для нужд энергетики.

Реализовать весь гидроэнергетический потенциал водотока нет возможности, так как происходят неизбежные потери расходов воды (на испарение, фильтрацию, забор воды на хозяйственные нужды и т. д.) и изменения напоров, а также потери энергии в электромеханическом оборудовании [9].

Гидроэнергетический потенциал с экономической точки зрения зависит от многих факторов: степени изученности рек, научно-технического прогресса в энергетике, изменения структуры энергетического баланса территории, конъюнктуры энергоносителей, потребностей рынка в условиях свободной конкуренции и других.

Теоретический потенциал малой энергетики России оценивался в 1520 млрд кВт·ч (30 % от общего потенциала водных ресурсов страны) [10]. При этом экономически целесообразная часть составила бы 493 млрд кВт·ч. В 90-х годах XX века предполагалось довести установленную мощность МГЭС к 2000 г. до 3000 МВт с выработкой более 12 млрд кВт·ч в год, что могло бы дать экономии более 4 млн т органического топлива (в пересчёте на условное топливо). Как следствие – уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

В качестве оценки гидроэнергетического потенциала малых рек в бассейне Томи рассмотрим:

- 1) факторы, определяющие гидроэнергетический потенциал: возможности создания напора (по характеристикам рельефа местности и продольным профилям потоков), водность (расходы воды) рек с распределением по сезонам и месяцам, уклоны свободной поверхности и скорость течения;
- 2) условия, способствующие использованию гидроэнергетического потенциала (большие перепады отметок местности, высокая водность и скорости течения в период половодья);
- 3) определение причин, мешающих освоению гидроэнергетических ресурсов рассматриваемой территории (низкая водность, скорость течения в меженные периоды, ледовые явления, лесные заломы, влекомые наносы).

Таблица. Показатели потенциальной мощности и энергии некоторых малых рек бассейна Томи

Table. Indicators of potential power and energy of some small rivers of the Tom basin

Река – створ River – section line	Длина реки L, км Length of river L, km	Уклон водной поверхности I % Water surface slope, I %	Перепад высот ΔH , м Height difference ΔH , m	Средний многолет- ний годовой расход воды Q, м ³ /с Average long-term annual water flow rate Q, m ³ /s	Потенциальная мощность N Potential power N		Энергия потока Э, 10 ⁶ кВт·ч/г Stream energy Э, 10 ⁶ kWh/year
					кВт/км kW/km	кВт/км kW/km	
р. Тельбес – Тельбесский рудник Telbes River (Telbessky mine)	71	16	1136	25,1	139859	1969,8	1226,0
р. Ускат – с. Красулино Uskat River (Krasulino)	22	2,80	61,6	4,79	1447	65,8	12,7
р. Амзас – с. Амзас Amzas River (Amzas)	24	10	240	3,76	4426	184,4	38,8
р. Южная Уньга – с. Панфиловское South Unga River (Panfilivskoe)	54	2,62	141	4,14	2863	53	25,1
р. Северная Уньга – с. Панфиловское North Unga River (Panfilivskoe)	72	2,09	149	3,23	2361	32,8	20,7
р. Тутуяс – п. Тутуяс Tutuas River (Tutuas)	74	8,16	604	17,0	50365	680,6	441,5
р. Тайдон – п. Медвежка Taidon River (Medvezhka)	61	4,20	256	48,0	60273	988,1	528,3

Для рек бассейна Томи характерным является высокое значение уклонов и водной поверхности во все фазы водного режима, как в многоводные, так и в маловодные годы. На спаде половодья уклоны существенно снижаются, оставаясь при этом достаточно высокими для производства электроэнергии.

Подобный внутригодовой режим уклонов водной поверхности, наличие вертикальной и горизонтальной расчленённости речных долин являются благоприятными факторами для применения деривационных ГЭС и микроГЭС.

Наивысших значений средние и максимальные скорости воды достигают в половодье и могут составлять 3,5–4,2 м/с. В летне-осеннюю межень скорости воды существенно снижаются до 0,5–0,9 м/с. При этом максимальные скорости в 1,3–1,5 раза превышают средние скорости.

Сток донных (влекомых) наносов составляют около 10–30 % от стока взвешенных. По оценкам [14], р. Томь у Томска переносит за год от 200 тыс. до 1000000 м³ донных наносов. Наличие наносов в речном потоке приводит к быстрому истиранию лопаток турбин гидроэнергетических установок, что необходимо учитывать при определении периода эксплуатации ГЭС.

Для оценки энергонасыщенности реки используют километрическую мощность N_k (кВт/км). На основе фондовых материалов [15] в таблице представлен среднегодовой расход воды малых рек бассейна Томи и по формулам (2) и (3) определены показатели мощности потоков.

Наибольшей энергией обладают потоки, формирующиеся на западных склонах Кузнецкого Алатау: р. Тутуяс (442·10⁶ кВт·ч/год), р. Тайдон (528·10⁶ кВт·ч/год), а также в Горной Шории – р. Тельбес (1226·10⁶ кВт·ч/год), что легко объяс-

няется значительным перепадом высот ΔH , м и водности потоков. В современном мире для малой гидроэнергетики рекомендуется использовать поперечно-струйные или двукратные гидротурбины.

Максимальный коэффициент полезного действия таких турбин составляет 90 %, они надёжны в эксплуатации, имеют относительно простую конструкцию и сравнительно низкую себестоимость. В соответствии с их эксплуатационными характеристиками турбины могут эксплуатироваться при напорах от 1 метра с получением при этом мощности порядка 6–8 кВт при наличии достаточных расходов воды.

Главный положительный эффект малой гидроэнергетики заключается в том, что она даёт возможность удовлетворить потребности человека при минимальном воздействии на окружающую среду [16]. Это особенно важно, учитывая неблагоприятное экологическое состояние малых рек Сибири. Выделяют следующие аспекты, обеспечивающие высокую экологическую и социальную эффективность малых ГЭС:

- небольшие площади затопления и подтопления земель;
- простота подготовки ложа к затоплению;
- мелководные и небольшие по объёму водохранилища малых ГЭС не препятствуют процессам водообмена, способствуют перемешиванию вод и их аэрации;
- несущественная степень нарушения окружающей среды;
- минимальный вред рыбному поголовью;
- заполнение малых водохранилищ не провоцирует землетрясения;
- проще обеспечить безопасную эксплуатацию малых ГЭС, разрушения их плотин не столь опасны, как плотин крупных ГЭС, даже в случае террористических актов;

- малые ГЭС экономически выгодны в обслуживании и ремонте.

Приведенные в таблице расчётные значения характеристик энергетического потенциала отдельных рек бассейна Томи свидетельствуют о том, что их энергетический потенциал весьма высок для развития малой и микрогидроэнергетики.

Географически наиболее перспективными территориями для развития гидроэнергетики являются локальные участки с относительно более высокими уклонами рек, где обеспечиваются достаточный напор и скорости течения в близком расположении от населённых пунктов, чтобы минимизировать потери электроэнергии на пути к потребителю. Такой вывод касается всех типов компоновки гидроэнергетических установок.

В отношении распределения гидрологических и гидравлических характеристик потоков во времени (по сезонам и месяцам) наиболее благоприятным является тёплый период года, особенно весенне-летнее половодье, когда возможности выработки гидроэнергии максимальные. Зимой гидроэнергетический потенциал наименьший в связи с низкими расходами воды в зимнюю межень и ледовыми явлениями (ледостав зимой, наледи, наличие льда и шуги в потоках во время замерзания и вскрытия рек). Вопрос о возможности эффективно вырабатывать гидроэнергию на малых реках в целом и особенно в зимний период года решается после тщательного всестороннего изучения конкретного проекта.

В России до 2015 г. планировалось ввести в эксплуатацию 65 малых гидроэлектростанций (18 – на территории Республики Тыва, 35 – в Республике Алтай, 12 – в Бурятии). Разработана концепция развития и схема размещения объектов малой гидроэнергетики для этих республик. Уже построены две станции и ведётся строительство ещё трёх. МикроГЭС в Тыве построена в 1995 г. на курорте Уш-Белдир, в 2001 г. введена в строй микроГЭС «Кызыл-Хая» [17]. Повсеместное строительство МГЭС сдерживается слабой законодательной базой в области использования ВИЭ.

В перспективные планы стратегического развития энергетики страны, отдельных субъектов Федерации и различных энергосберегающих компаний до 2020–30 гг. включены реконструкция старых и строительство новых малых ГЭС. «В соответствии с Основными направлениями государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года целевым ориентиром на указанный период является увеличение относительного объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт) примерно с 0,5 до 4,5 %. Для достижения намеченных объемов производства электроэнер-

гии на базе возобновляемых источников энергии необходимо уже в указанный период обеспечить ввод генерирующих объектов (малых гидроэлектростанций, ветроэлектрических станций, приливных электростанций, геотермальных электростанций, тепловых электростанций, использующих биомассу в качестве одного из топлив, прочих видов электроустановок) с суммарной установленной мощностью до 25 ГВт» [18, с. 74]. Малая гидроэнергетика в отдельных регионах способствует обеспечению экологической безопасности функционирования энергетического сектора и уменьшению негативного влияния на окружающую среду. Необходима законодательная база для её успешного развития.

В настоящее время в стране официально приняты только Рекомендации [19], которые содержат характеристики нетрадиционной и малой энергетики. Закон «О возобновляемых источниках энергии» находится в стадии обсуждения проекта, разработанного представителями РАО ЕЭС России, ОАО ГидроОКГ в рамках реализации Программы подготовки нормативных и регламентирующих документов. Отсутствие подобного закона препятствует реализации проектов создания сооружений, вырабатывающих электрическую энергию из возобновляемых источников [20].

Законодатели отдельных субъектов Федерации на местном уровне принимают законы, регулирующие применение ВИЭ и определяющие особенности местной энергосберегающей деятельности для беспрепятственного развития нетрадиционной энергетики в регионе. Например, закон Алтайского края «Об энергосбережении, повышении эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в Алтайском крае» (принят Постановлением № 5 Алтайского краевого совета народных депутатов от 3 января 2001 г.).

В Удмуртской Республике принята в ноябре 2013 г. государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики в Удмуртской Республике (2014–2020 гг.)». Программа направлена на повышение эффективности использования возобновляемых источников энергии. С совокупным объемом финансирования в 2014 г. около 140 млн руб. и к 2020 г. более 300 млн руб. Программа учитывает показатели только производства электрической энергии и не рассматривает выработку тепловой энергии [21].

Выводы

Успешное развитие малой гидроэнергетики в бассейне Томи возможно на основе следующих установленных фактов:

1. Климатические условия сибирского региона, гидрографические характеристики малых водотоков и их гидроэнергетический потенциал являются основой стабильного, ежегодно возобновляемого источника гидравлической энергии.

2. Наличие современного производства экономически выгодных и экологически безопасных современных малых и микроГЭС.
3. Ориентированность экономики страны, энергетической стратегии развития на максимальное использование ВИЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев А.В. Стимулирование использования возобновляемых источников энергии и факторы, препятствующие развитию нетрадиционной энергетики в России // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. – 2013. – № 5 (83) – С. 160–164. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/stimulirovanie-ispolzovaniya-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii-i-factory-prepyatatstvuyushie-razvitiyu-netraditsionnoy-energetiki> (дата обращения: 29.12.2015).
2. Германия. 74 % энергии из возобновляемых источников. URL: <http://www.vestifinance.ru/articles/42870> (дата обращения: 29.12.2015).
3. Айзягулова И. Германия избавляется от атома. URL: <http://www.gazeta.ru/business/2014/05/16/6037129.shtml>. (дата обращения: 29.12.2015).
4. BP Statistical Review of World Energy. 2013. URL: <http://www.bp.com/statisticalreview> (дата обращения: 29.12.2015).
5. International Center on Small Hydro Power (ICSHP). 2015. URL: http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/WSHPDR_2013_Executive_Summary_Russian.pdf. – С. 3 (дата обращения: 29.12.2015).
6. IEA World Energy Investment Outlook. International Energy Agency. Special Report. OECD/IEA. Paris. 2015. URL: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015Special_Report_on_Energy_and_Climate_Change.pdf (дата обращения: 29.12.2015).
7. Субботин А.С., Хаустов В.А. Гидротехника и мелиорация. – СПб.: РГТУ, 2006. URL: <http://hva.rshu.ru/ob/gidroteh/uch/titul.htm> (дата обращения: 29.12.2015).
8. Суржикова О.А. Состояние российской электроэнергетики // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 4. – С. 140–143. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-rossiyskoy-elektroenergetiki> (дата обращения: 29.12.2015).
9. Мезенцев А.В., Вершинина И.П. Потенциальные гидроэнергетические ресурсы Кемеровской области // Природные ресурсы Сибири. Современное состояние и проблемы природопользования: сборник материалов. – Новосибирск: Наука, 2010. – С. 11–24.
10. Садовский С.И. Пути развития малой гидроэнергетики России // Гидротехническое строительство. – 1997. – № 9. – С. 1–3.
11. География. Современная иллюстрированная энциклопедия / под ред. проф. А.П. Горкина. – М.: Росмэн, 2006. URL: http://dic.academic.ru/searchall.php?SWord=%D0%9A%D1%83%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B0&from=xx&to=ru&did=enc_geo&stype= (дата обращения: 29.12.2015).
12. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг.). Верхняя и Средняя Обь / под. ред. Е.П. Шурупа. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – Т. 15. – Вып. 2. – С. 124–133.
13. Вершинина И.П. Характеристика годового стока рек Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – № 316. – С. 201–205.
14. Русловые и пойменные процессы рек Сибири // В.А. Земцов, Д.А. Вершинин, А.О. Крутовский, Ю.И. Каменсков. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 182 с.
15. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Разд. 1. Сер. 2. Ч. 1. Т. 1. Вып. 10. 1978–2005 гг. – Новосибирск: ГКпоГМиКПС, Зап.-Сиб. УГМиКПС, 1979–2007.
16. Малик Л.К. ГЭС на малых реках России: достоинства и недостатки // Природа. – 2003. – № 1. – С. 55–62.
17. ЭнергоСвет // Портал по энергосбережению. URL: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=36> (дата обращения: 29.12.2015).
18. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. – С. 74 // Портал Infobio. URL: <http://www.infobio.ru/sites/default/files/Energostrategiya-2030.pdf> (дата обращения: 29.12.2015).
19. Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Гидроэлектростанции малой мощности передвижные. Типы и основные параметры. Р 50-605-88-94 (текст документа по состоянию на июль 2011 г.): утверждены Приказом ВНИИСтандарта от 10 июня 1994 г. № 29. Дата введения 1 января 1995 года // Информационно-правовой портал BestPravo. URL: <http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/pt-zakony/190.htm> (дата обращения: 29.12.2015).
20. Ларин В.И. Состояние и перспективы применения возобновляемых источников энергии в России. Характеристика возобновляемой энергетики в регионах Российской Федерации: Мурманской области, Ярославской области, Республике Алтай и Алтайском крае. Некоторые рекомендации. – М.: Lead, 2006. – С. 50–53.
21. Сергеев Н.Н. Основные направления использования возобновляемых источников энергии в Удмуртской Республике // Вестник Удмуртского университета. Экономика и право. – 2014. – Вып. 2. – С. 92–96. URL: http://ru.vestnik.udsu.ru/files/originsl_articles/vuu_14_022_12.pdf (дата обращения: 29.12.2015).

Поступила 29.12.2015 г.

Информация об авторах

Вершинина И.П., старший преподаватель кафедры природопользования геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

UDC 532.5

EVALUATION OF ENERGY POTENTIAL OF SMALL RIVERS OF THE TOM

Irina P. Vershinina,
ipvershinina@rambler.ru

National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the research is in the interest of certain regions of the country and the Russian economy as a whole in rapid implementation of small and micro hydropower, relatively low cost in construction and subsequent operation and environmentally less hazardous than larger waterworks, to generate electricity from the potential hydraulic energy of small streams. The novelty of the research lies in calculation of hydropower potential of small rivers of the basin of the Tom (rivers with a catchment area less than 2000 km²) as a proof of real possibility of a stable year-round operation of small and mini hydroelectric power stations in Siberian regions, erected on small watercourses.

The main aim of the research is to study comprehensively the factors and conditions which have favorable and negative impact on use of hydropower potential of small surface water bodies located in the territory of Western Siberia, by the example of calculation of energy potential of small tributaries of the Tom as a constantly renewable source of hydraulic power.

The methods used in the study: comparative geography when evaluating hydro-morphological characteristics of rivers, mathematics in calculating long-term average annual flow of watercourses studied and their potential energy capacity, analysis and synthesis in the findings.

The results. The author has found out that the area of the Tom basin has certain promising areas for successful development of small power by geographical and hydrological characteristics. The calculations confirmed a real possibility of a stable year-round use of the energy potential of medium-sized watercourses in Siberia. The widespread construction of small hydro power plants, in contrast to their widespread use in the developed foreign countries, is constrained in Russia by a weak legal framework in the field of application of the alternative energy sources.

Key words:

Water consumption, renewable energy sources, small rivers, hydropower potential, small hydropower.

REFERENCES

- Chernyshev A.V. Promote the use of renewable energy sources and the factors impeding the development of non-traditional Energy in Russia. *Bulletin of the St. Petersburg University of Economics and Finance*, 2013, no. 5 (83), pp. 160–164. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/stimulirovanie-ispolzovaniya-vozobnovlyayemykh-istochnikov-energii-i-factory-prepyatstvuyushchie-razvitiyu-netraditsionnoy-energetiki> (accessed 29 December 2015). In Rus.
- Germaniya. 74 % energii iz vozobnovlyayemykh istochnikov [Germany. 74 % of energy from renewable sources]. Available at: <http://www.vestifinance.ru/articles/42870> (accessed 29 December 2015).
- Ayzyagulova I. Germaniya izbavlyatsya ot atoma [Germany gets rid of atom]. Available at: <http://www.gazeta.ru/business/2014/05/16/6037129.shtml> (accessed 29 December 2015).
- BP Statistical Review of World Energy. 2013. Available at: <http://www.bp.com/statisticalreview> (accessed 29 December 2015).
- International Center on Small Hydro Power (ICSHP). 2015. Available at: http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/WSHPDR_2013_Executive_Summary_Russian.pdf, p. 3 (accessed 29 December 2015).
- IEA World Energy Investment Outlook. International Energy Agency. Special Report. OECD/IEA. Paris. 2015. Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WE02015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf> (accessed 29 December 2015).
- Subbotin A.S., Khaustov V.A. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydrotechnics and melioration]. Available at: <http://hva.rshu.ru/ob/gidroteh/uch/titul.htm> (accessed 29 December 2015).
- Surzhikova O.A. Status of the Russian power. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 312, no. 4, pp. 140–143. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-rossiyskoy-elektroenergetiki> (accessed 29 December 2015). In Rus.
- Mezentsev A.V., Vershinin I.P. Potentsialnye gidroenergeticheskie resursy Kemerovskoy oblasti [Potential hydropower resources of Kemerovo region]. *Prirodnye resursy Sibiri. Sovremennoe sostoyanie i problem prirodopolzovaniya. Sbornik materialov* [Natural Resources of Siberia. The current state and problems of nature management. The collection of materials]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2010. pp. 11–24.
- Sadovsky S.I. Puti razvitiya maloy gidroenergetiki Rossii [Future development of small hydropower in Russia]. *Hydraulic engineering*, 1997, no. 9, pp. 1–3. In Rus.
- Geografiya. Sovremennaya illyustrirovannaya entsiklopediya [Geography. Modern illustrated encyclopedia]. Ed. by prof. A.P. Gorkina. Available at: http://dic.academic.ru/searchall.php?SWord=%D0%9A%D1%83%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B0&from=xx&to=ru&did=enc_geo&stype= (accessed 29 December 2015).
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1971–1975). Verkhnyaya i Srednyaya Ob [Surface water resources in the USSR. Main hydrological characteristics (1971–1975). Upper and Middle Ob]. Ed. by Shurupa E.P. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1979. Vol. 15, Iss. 2, pp. 124–133.
- Vershinina I.P. Characteristics of the annual rivers flow in Kuzbass. *Tomsk State University Journal*, 2008, no. 316, pp. 201–205. In Rus.
- Zemtsov V.A., Vershinin D.A., Krutovsky A.O., Kamenkov Yu.I. *Ruslovyje i poymennye protsessy rek Sibiri* [Channel and floodplain processes of Siberian rivers]. Tomsk, TML-Press, 2007. 182 p.

15. *Gosudarstvenny vodny kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy* [The State Water Cadastre. Annual data on the regime and resources of surface waters]. Section 1, Ser. 2, P. 1, Vol. 1, Iss. 10, 1978–2005. Novosibirsk, West-Sib. Hydrometeorological Department of Environmental Monitoring, 1979–2007.
16. Malik L.K. GES na malykh rekakh Rossii: dostoinstva i nedostatki [Hydropower plants on small rivers of Russia: the advantages and disadvantages]. *Nature*, 2003, no. 1, pp. 55–62.
17. *Portal po energosberezheniyu «EnergoSvet»* [Portal of energy efficiency «EnergoSvet»]. Available at: <http://www.energoso-vet.ru/entech.php?idd=36> (accessed 29 December 2015).
18. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsyi ot 13 noyabrya 2009 g. no. 1715-r* [Russia Energy Strategy until 2030 approved by the Federal Government on November 13, 2009 no. 1715-r. Portal Infobio]. p. 74. Available at: <http://www.info-bio.ru/sites/default/files/Energostrategiya-2030.pdf> (accessed 29 December 2015).
19. Netraditsionnaya energetika. Hidroenergetika Malaya. Hidroelektrostantsii maloy moshchnosti peredvizhnye. Tipy i osnovnye parametry (Tekst dokumenta po sostoyaniyu na iyul 2011 goda). Utverzhdeny Prikazom VNIStandarta ot 10 iyunya 1994 g. № 29 [Alternative Energy. Small hydropower. Mobile low-power hydropowers. Types and basic parameters. R 50-605-88-94 (text of the document as of July 2011). Approved by the order no. 29 of the Research Institute of the standard of 10 June 1994]. *BestPravo*. Available at: <http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/pt-zakony/19o.htm> (accessed 29 December 2015).
20. Larin V.I. *Sostoyanie i perspektivy primeneniya vozobnovlyemykh istochnikov energii v Rossii. Kharakteristika vozobnovlyemoy energii v Regionakh Rossiyskoy Federatsii: Murmanskoy oblasti, Yaroslavskoy oblasti, Respublike Altay i Altayskom krae. Nekotorye rekomendatsii* [Status and prospects of renewable energy sources in Russia. Characteristics of renewable energy in the region of the Russian Federation: Murmansk and Yaroslavl regions, Altai Republic and Altai Territory. Recommendations]. Moscow, Lead Publ., 2006, pp. 50–53.
21. Sergeev N.N. The main directions of using the renewable energy in the Udmurt Republic. *Bulletin of Udmurt University. Economics and Law*, 2014, vol. C2, pp. 92–95. Available at: http://ru.vestnik.udsu.ru/files/originsl_articles/vuu_14_022_12.pdf (accessed 29 December 2015). In Rus.

Received: 29 December 2015

Information about the authors

Irina P. Vershinina, senior lecturer, Tomsk State University.