

**Список литературы**

1. Валова В.С., Лошманов А.Ю. Применение графических технологий WPF для увеличения скорости вывода растровых изображений // В сборнике Актуальные вопросы образования и науки сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 35–37.
2. Ким С.Д., Лошманов А.Ю. Об одном методе закраски объектов, заданных полигональными сетками // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 4. – С. 165–166.
3. Лошманов А.Ю., Анисимов А.Н. Распространение внутренней трещины при растяжении полосы с V-образными вырезами // Перспективы науки. – 2011. – № 24. – С. 105–108.
4. Лошманов А.Ю. Математическое описание полей деформаций в некоторых задачах обработки металлов давлением // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2011. – Т. 1, № 5. – С. 10–15.

**РАСЧЕТ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕК НА ТЕРРИТОРИИ ТУВЫ С ПОМОЩЬЮ ГИС**

Котельников В.И., Чупикова С.А.

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, e-mail: tikopr@mail.ru*

Гидрографическая сеть Тувы относится к верхней части бассейна Енисея и к бассейну Убсу-Нурской бессточной котловины Центральной Азии.

В настоящее время сокращение сети метеорологических станций и водомерных постов на реках, озерах и водохранилищах привело к невозможности получения объективных гидрологических сведений. Так, на территории Республики Тыва до 1991 г. существовало 22 пункта наблюдений, на сегодняшний день действует 16 водомерных постов. В связи с этим на первый план выходят косвенные методы определения гидрологической информации. Известно [Калинин 2000; Пьянков 2002], что топографические и тематические карты являются источником ряда важнейших гидрографических характеристик рек и их бассейнов, необходимых для анализа и выявления закономерностей гидрологического режима водных объектов. В то же время в имеющихся изданиях водного кадастра [Гидрологический ежегодник, 1987] приведены далеко не все гидрографические характеристики рек и их бассейнов и не по всем водомерным постам (например, не приведены средние уклоны бассейнов и главного водотока, густота речной сети и т.д.). Это связано с ограниченными возможностями традиционных способов [Калинин и др., 1999] определения гидрографических характеристик водных объектов и их бассейнов.

Основная часть стока малых и средних рек Республики Тува формируется внутри горноскладчатого (обрамления) территории, где гидрометеорологическая изученность территории явно недостаточна. Это затрудняет установление стока с её отдельных частей, стимулируя разработку различных методических приемов и поиск кос-

венных признаков водоносности рек. Наиболее часто для этого используются закономерности распределения стока в зависимости от местных природных условий – высоты местности, длины рек, уровня подземных вод и некоторых других факторов.

Развитие малой гидроэнергетики в России было широко развернуто в послевоенные годы (мощностью преимущественно менее 5 мВт). За период 1946–1952 гг. было построено около 7000 МГЭС общей мощностью 1500 мВт, которые сыграли большую роль в восстановлении народного хозяйства [Малик, 1997; Бушуев и др., 1998; Фельдман и др., 1989]. Затем интерес к малой энергетике был утрачен, в связи с активным строительством крупных гидроэлектростанций. В настоящее время вопрос использования энергии малых рек возник вновь, особенно он актуален для экономического развития Тувы. К началу 90-х годов из-за отсутствия бюджетных средств было прекращено строительство ЛЭП (линии электропередач) в наиболее отдаленные населенные пункты. В связи с этим тревожное положение сложилось в зоне децентрализованного энергоснабжения, составляющего более чем 40% территории Тувы, где постоянно проживает около 70 тыс. человек. Основными энергоисточниками в ряде отдалённых населенных пунктов являются ДЭС (дизельные электростанции), работающие на жидком привозном топливе. Все действующие дизельные станции убыточны [Научно-технический центр «Энерготехнология», Межотраслевое научно-техническое объединение «Инсэт» Центральный научно-исследовательский дизельный институт, Постоянное представительство Республики Тыва по Северо-Западным регионам России, 1999].

В настоящее время решение вопроса проектирования МГЭС должно строиться на принципиально новых подходах и новых технологиях. Для развития малой гидроэнергетики требуется уточнение гидроэнергетического потенциала рек Тувы. Ниже сделана попытка оценить гидроэнергетический потенциал рек Тувы с использованием разработанной нами ГИС «Гидроэнергетические ресурсы Республики Тува».

В связи с недостаточной обеспеченностью территории республики водомерными постами и межведомственными трудностями использования существующих данных по гидростам, исходим из имеющихся и доступных данных, таких как топографические карты масштаба 1:100000 и общегеографическая карта масштаба 1:1000000.

Для расчёта потенциальной энергии Э реки на участке протяженностью  $L$  (км), при падении на нём  $h$  (м) и среднем расходе на этом участке  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) использовались формулы, приведённые в работе [Безруких, 2002]:

$$N = 9,81 \times Q \times H, \quad (1)$$

$$\mathcal{E} = N \times T, \text{ кВт.ч} \quad (2)$$

где  $Q$  – расчетный расход воды, м<sup>3</sup>/с,  $H$  – расчетный напор, м;  $N$  – мощность, кВт;  $T$  – время, часы;  $\mathcal{E}$  – вырабатываемая энергия, кВт.ч.

Таким образом, для расчета валовых гидроэнергетических ресурсов следует знать значения  $H$  и  $Q$ .

При выборе энергетических параметров МГЭС, для обеспечения её надёжной и безаварийной эксплуатации, наибольший практический интерес представляет среднегодовое расхождение  $Q_{\text{мин}}$  и максимальный паводковый расход  $Q_{\text{макс}}$ . Для определения расчётного расхода  $Q_{\text{макс}}$  необходимо иметь значение среднегодового расхода  $Q_{\text{гн}}$ , позволяющего при выбранном значении напора  $H$  подсчитать мощность  $N^{\text{ГЭС}}$ . Правильное решение этой задачи важно для определения экономической эффективности МГЭС.

Оценка валового энергетического потенциала для территории Республики Тува затруднена из-за отсутствия полной гидрологической и гидрометрической информации, о чем упоминалось выше. Поэтому использование геоинформационных технологий и методов математического моделирования являются эффективным инструментом решения задач оценки валового гидроэнергетического потенциала.

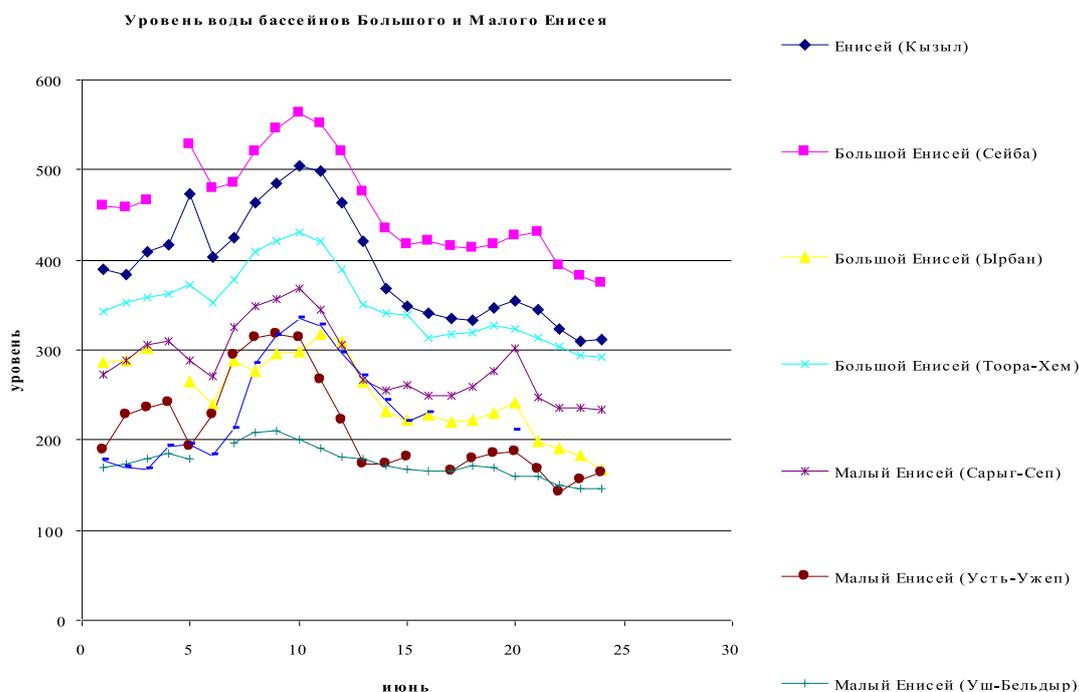
Анализ имеющихся наблюдений (1974–2002 гг.) за уровнем воды в различных точках гидрографической сети бассейна реки Енисей (рисунок) и фрактальный анализ речных систем

Саяно-Тувинского нагорья показывают, что речные системы согласованно реагируют на изменение гидрологической обстановки, находятся в функциональной зависимости от природных условий и геоморфологических особенностей территории. Это позволяет рассматривать бассейн Большого и Малого Енисея как единый природный объект. На основе цифровой модели этого объекта можно проводить вызывающие интерес вычисления.

На основе созданных цифровых моделей речной сети проводились расчёты расхода воды  $Q$  для определения потенциальной мощности водотока в заданной точке речного русла.

Рассматривались зависимости стока рек от некоторых определяющих факторов, количественными показателями которых явились вычисленные гидрографические характеристики. В качестве показателей стока рек выбраны среднегодовые, максимальные и минимальные (летние и зимние) расходы воды. В результате выявлены зависимости стока от длины главного водотока, площади водосбора, суммарной длины рек в пределах бассейна.

Следует отметить, что аппроксимация поведения суммы длин притоков отмечалась в работе [Синюкович и др., 2000]. Мы использовали зависимости расход – длина для определения удельного расхода воды, необходимого при вычислении потенциальной мощности водотока в определённых точках речного русла.



Уровень воды бассейнов Большого и Малого Енисея

Количество рек (притоков) в пределах бассейна определялось для масштабов 1:1000000 и 1:100000. Анализ вычисленных коэффициентов густоты речной сети показал, что их абсолютные значения находятся в тесной зависимости от масштаба карты, по которой они определяются. Количество рек по картам масштаба 1:1000000 получилось в среднем в 3 раза больше, по сравнению с определенными в масштабе 1:1000000. Это объясняется особенностями картографической генерализации – при уменьшении масштаба уменьшается учитываемая извилистость, а следовательно, длина водотоков и количество их притоков. Значения суммарной длины рек в пределах бассейна также отличаются в среднем в 3 раза, при практически неизменных площадях водосборов.

Расчет всех параметров проведен по топографическим картам масштабов 1:1000000 и 1:100000. Интересные результаты дало сравнение площадей оцифрованных бассейнов рек в пределах водосбора Республики Тува с опубликованными данными [Гидрологический ежегодник, 1984–1987]. В случае, когда площади в среде ГИС определялись по картам масштаба 1:1000000, разница между ними и опубликованными данными в среднем не превышает 2,69%, при этом максимальное отклонение составило 11,04% (табл. 1).

Выявленные закономерности формирования стока рек являются весьма показательными

и, безусловно, найдут применение для изучения и оценки водных ресурсов, а также для определения режимной гидрологической информации наряду с известными расчетными методами.

Рассмотрим связь длины реки с интересующим нас параметром – расходом воды, необходимым для определения потенциальной мощности водотока.

Для этого по электронной карте определяем длину всей реки и ее притоков и рассчитываем удельный расход для всего бассейна – путем деления известного расхода в самой нижней точке реки на сумму длин всех притоков данной реки на интересующем нас водотоке. Удельный расход используется для расчета реальных расходов воды и энергетической мощности водотоков:

$$Q_{\text{рас}} = 0,0391 \sum L_{\text{пр}} - \text{для Большого Енисея} \quad (3)$$

$$Q_{\text{рас}} = 0,0253 \sum L_{\text{пр}} - \text{для Малого Енисея}; \quad (4)$$

$Q_{\text{рас}}$  – рассчитанный расход воды;

$\sum L_{\text{пр}}$  – суммарная длина вышерасположенных притоков.

Используя формулы (3, 4), произведены расчеты  $N$  и  $Q$  для рек, входящих в речные бассейны Большого и Малого Енисея. Вычисленные значения ( $Q$ ) – расхода воды по предлагаемой методике сравнивались с имеющимися данными «Государственного Водного кадастра» (табл. 2).

Таблица 1

Соотношение площадей водосбора по данным «Гидрологический ежегодник» [1984–1987гг.] и определенных посредством ГИС

Река	Площадь водосбора до устья (F), км <sup>2</sup>			Отклонение Fводсб ГИС от Fводсб Гидр. изученности		
	Гидролог. изученность $F_{\Gamma}$	Водный кадастр $F_{\text{вк}}$	В среде ГИС $F_{\text{гис}}$	$\frac{F_{\Gamma} - F_{\text{вк}}}{F_{\Gamma}} \%$	$\frac{F_{\Gamma} - F_{\text{гис}}}{F_{\Gamma}} \%$	$\frac{F_{\text{вк}} - F_{\text{гис}}}{F_{\text{вк}}} \%$
Бол. Енисей (Тора-Хем)	15600	15600	15560	0	0,25	0,25
Хамсара (Хамсара)	4890	4890	4754	0	2,78	2,78
Бол.Енисей (Ырбан)		36800	36810			2,7
Сыстиг-Хем	4430	4430	4337	0	2,1	2,1
Бол.Енисей (Севи)	44600	44600	44550	0	0,11	0,11
Бол.Енисей (Кара-Хаак)	56500	56500	56560	0	0,11	0,11
Тапса	1170	1170	1114	0	4,78	4,78
Мал.Енисей	58600		59760		1,94	
Мал.Енисей (сев. Аржан)	20200		17970		11,04	
Мал.Енисей (Усть-Ужеп)	42300	42300	42000	0	0,71	0,71
Мал.Енисей (Сарыг-Сеп)	53300		54840		2,88	
Бурен (Бурен-Аксы)	5980	5980	5709	0	4,53	4,53
Хемчик	25500		25680		0,71	
Эрзин (Эрзин)	4240		4242		0,047	
Мизим (Сизим)	867	867	843,4	0	2,72	2,72
Шагонар (Арыскан)	456	456	481,9	0	5,68	5,68
Среднее отклонение						2,69
Максимальное отклонение						11,04
Минимальное отклонение						0,047

Таблица 2

Сравнительная характеристика расхода воды по данным ГИС и Государственного водного кадастра

Речной бассейн	$Q_{\text{рас}}$ – рассчитанный расход воды, м <sup>3</sup> /с	$Q$ – расход воды по данным «Государств. Водного кадастра», м <sup>3</sup> /с.	$\frac{Q - Q_{\text{рас}}}{Q} \%$
Бурен	29,59	32,0	7,53
Мизим (пос. Сизим)	4,6	5,37	14,33
Ужеп	5,49	8,25	33,45
Каргы	17,99	23,6	23,77
Бол. Енисей (пос. Тора-Хем)	158,27	176	10,07
Систиг-Хем (пос Тозан)	35,43	60,3	41,24
Уюк (пос Чкаловка)	16,94	11,47	47,68
Хамсара (пос Хамсара)	58,72	89,2	34,17
Тапса (с Кара-Хак)	10,37	19,53	46,9
Улуг-Баш	17,19		
Серлиг-Хем	26,70		
Харал	7,41		
О-Хем	11,66		
Эржей	4,05		
Хоор-Ос	8,28		
Ожу	9,36		
Унжей	3,02		
Улуг-Шивей	7,0		
Дерзиг	9,4		
Азас	33,88		

Таблица 3

Рассчитанная с помощью ГИС и предполагаемая мощность проектируемых ГЭС

Проектируемые ГЭС	$N_{\text{уст}}$ проектируемая мощность (кВт)	$N_{\text{рас}}$ мощность, рассчитанная используя ГИС (кВт)
«Чазылар» на р. Хамсара	165 (3 агр x 55)	332
На р Чаваш	1728 (8 агр x 216)	224.9
«Тывинская» на р. Хамсара	1728 (8 агр x 216)	1210.7
На р. Сыстыг-Хем	110 (2 агр x 55)	192.2
На р. Сейба	110 (2 агр x 55)	38.3
На р. Хут	110 (2 агр x 55)	58.3
На р. Чавач	165 (3 агр x 55)	44.7
На р. Балыктыг-Хем	440 (8 агр x 55)	69.5

Расчет показал, что значения  $N$  для малых гидроэлектростанций, проектируемых для строительства на территории республики Тува, определенные с использованием предлагаемой методики и полученные ранее по стандартным методикам, согласуются (табл. 3).

Предлагаемая методика определения расхода воды  $Q$  позволяет при ограниченной исходной информации производить интересующие нас вычисления. Это поможет определять перспективные в гидроэнергетическом отношении водотоки при существующей ограниченной гидрологической информации.

Таким образом, применение ГИС-технологий позволяет поднять на новый качественный уровень исследования гидрологических процессов и явлений.

Используя инструментарий геоинформационных систем и ГИС – проект «Гидроэнергетические ресурсы Республики Тува» были впервые рассчитаны некоторые новые показатели и коэффициенты.

Использование ГИС для вычисления некоторых гидрологических показателей, согласно исследованиям [Пьянкова и др., 2000; Калинина и др., 2000], играют далеко не последнюю роль в понимании ряда важнейших гидрологических процессов и явлений и позволяют, особенно при отсутствии данных наблюдений, косвенным путем получить важные гидрологические сведения. К их числу следует отнести порядки рек, а также суммарные длины рек и горизонталей в пределах бассейна. Расчет всех параметров проведен по электронным топографическим

картам масштабов 1:1000000 и 1:100000. Выявлены новые закономерности процессов формирования речного стока и сделан шаг в развитии косвенных методов их определения.

Итак, развитие средств вычислительной техники и информационные технологии позволяют создать на их основе цифровую модель интересующего объекта, чтобы представить разнородную информацию в графическом виде для интерпретации и принятия решений.

Водные ресурсы Республики Тува (РТ) включают в себя запасы более 15 тысяч крупных и малых рек, а также грунтовые и подземные воды. Но на сегодняшний день они почти не используются, хотя расширение возможностей их эксплуатации открыло бы дополнительные перспективы для экономического развития и благосостояния населения республики. Речная сеть наиболее развита в горных и труднодоступных районах, и использование гидроэнергетического потенциала этих рек, например для строительства малых гидроэлектростанций, позволило бы решить проблему энергоснабжения. Основными энергоисточниками в населённых пунктах Тоора-Хем, Севи, Хут, Мугур-Аксы, Кунгуртук и других являются дизельные электростанции, работающие на все дорожающем жидком дальнепривозном топливе. Развитие малой гидроэнергетики позволяет экономить органическое топливо в районах, удаленных от энергосистем, и может быть наиболее приемлемым в экологическом отношении и надёжным источником независимого снабжения электроэнергией отдалённых районов. Однако для более точного определения энергетического потенциала реки и наиболее выгодного месторасположения малых гидроэнергетических устройств необходимо учитывать множество факторов. Но недостаточное количество гидрологических постов наблюдений по рекам, а также отсутствие

полной гидрологической и гидрометрической информации затрудняют объективную оценку валового энергетического потенциала объектов малой гидроэнергетики. Использование же ГИС обеспечивает комплексное отображение ситуации за счёт графического представления различной информации на географической карте и облегчает её восприятие, что повышает эффективность принятия решений и оценки экологических последствий. Применение методов фрактального анализа для исследования речных систем также позволяет учитывать конкретные свойства каждой речной системы при её моделировании и вычислении количественных характеристик, в частности – расхода воды.

#### Список литературы

1. Калинин В.Г. Некоторые аспекты применения ГИС-технологий в гидрологии // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 12. – С. 71–78.
2. Пьянков С.В., Калинин В.Г. К вопросу о точности выполнения картометрических работ традиционными способами и с применением ГИС-технологий // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала: Межвуз. сб. науч. тр. / Перм. Ун-т. – Пермь, 2000. – С. 50–54.
3. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России // под общей редакцией П.П. Безруких. – СПб.: «Наука», 2002. – 305 с.
4. Никора В.И. Руслловые процессы и гидравлика малых рек – Кишинев: «Штиинца», 1992. – С. 26–40.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР том 16 Ангаро-Енисейский район Вып.1 Енисей. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 240 с.
6. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1985 г. / отв. Ред. Н.В. Андриянова, О.В. Ачаковская. – Обнинск. ВНИИГМИ. – МЦД, 1987. – Ч. 1, Ч. 2. Т. 1 Вып. 12. – 414 с.
7. Синюкович В.Н. Характер и природа синхронных колебаний стока рек юга Сибири // География и природные ресурсы. – 1999. – № 3. – С. 91–96.
8. Синюкович В.Н. средний сток рек Байкальской котловины и его определение при недостаточности наблюдений // География и природные ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 60–63.
9. Энергетическая безопасность России / Бушуев В.В., Воропай Н.И., Мастепанов А.М., Шафраник Ю.К. и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1998. – 302 с.