

Климов С. И., Мухтаров Ш. Т., Сергеева О. А.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОЙ ОЦЕНКИ СТОКА ГОРНЫХ РЕК СРЕДНЕЙ АЗИИ И ЕЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе данных гидрометеорологического прогноза об ожидаемой водности рек планируется режим водопользования, организация поливных работ, перераспределение воды между заинтересованными отраслями народного хозяйства, обеспечение необходимой информацией работы гидростанций, регулирование попусков воды из водохранилищ.

Большое значение имеют также прогнозы-предупреждения о высоких паводках и селевых потоках, предоставляющих угрозу населённым пунктам, промышленным предприятиям, водозабору и ирригационным сооружениям.

В настоящее время для удовлетворения потребностей народно-хозяйственных организаций выпускаются следующие виды гидрологических прогнозов:

- краткосрочные прогнозы стока (расходов и уровней);
- долгосрочные прогнозы стока за отдельные месяцы, кварталы; за период весенне-летнего половодья; за вегетационный период;
- долгосрочные прогнозы максимальных расходов (уровней) воды.

Служба гидрологических прогнозов не ограничивается перечисленными видами прогнозов, в каждом конкретном бассейне специфика использования водных ресурсов выдвигает свои запросы.

Большой вклад в развитие гидрологических прогнозов стока горных рек внесли советские гидрологи Т. С. Абольян, А. Н. Важнов, Ю. Б. Виноградов, Ю. М. Денисов, Н. Т. Дмитриева, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров, П. М. Машуков, И. С. Соседов, А. А. Харшан и др.

В основе методов долгосрочного прогнозирования стока горных рек лежит приближенное решение уравнения водного баланса на основе составления физико-статистических зависимостей стока от основных его факторов. При краткосрочном прогнозировании расходов (уровней) воды используются методы, учитывающие закономерности движения воды в руслах.

Нужно отметить, что теория прогнозов стока горных рек отстаёт от общего уровня гидрологической науки. Соответствующие математические модели формирования стока горных рек и дождевых паводков в прогностической практике ещё не нашли широкого применения. С одной стороны это объясняется отсутствием надёжных метеорологических прогнозов, с другой редкой сетью пунктов наблюдений за гидрометеорологическими величинами. Использование даже самых совершенных и физически обоснованных моделей прогноза стока в такой ситуации не будет давать хороших результатов. Этим, в основном, и объясняется столь широкое распространение статистических методов.

Разработка методики долгосрочного прогноза стока горных рек сводится к установлению для каждого бассейна на основе имеющихся за многолетний период исходных данных физико-статистических зависимостей стока от главных составляющих водного баланса. Установление зависимостей осуществляется графически или методами корреляции.

Методы статистического прогноза предполагают возможность оценки будущего значения процесса по прошлым и текущим данным наблюдений и определяющими его факторами.

Если за используемый интервал времени (30-40 лет) условия формирования стока существенно не менялись, для оценки связей может быть применён один из наиболее простых и распространённых методов – метод множественной линейной регрессии.

Необходимым этапом практической реализации метода множественной регрессии является тщательный анализ рассматриваемого природного явления и определение его основных причинных связей. Этот этап предшествует построению модели и позволяет выделить исходное множество потенциальных предикторов. Сужение их первоначального набора до оптимального требует специальных исследований.

Ограниченное количество станций, ведущих регулярные наблюдения, трудности, возникающие при доступе к гидрометеорологическим данным соседних государств, не дают адекватного представления о многолетней изменчивости распределения одного из важнейших компонентов водного баланса – снежного покрова в различных частях Центрально-азиатского региона (особенно в высокогорье). Данных же о межгодовой изменчивости снеготолщин безнадёжно мало. Одной из основных трудностей, связанных с оценкой снежного покрова, является сложность его распределения в пределах некоторой горной территории. Эта проблема в последнее время усугубляется сокращением традиционных наземных и авиационных средств наблюдений. Поэтому для труднодоступных горных территорий и для всего региона требуется восполнить недостаток сведений с помощью мониторинга на основе постоянно действующих космических съёмочных систем совместно с пунктами измерений мощности снежных толщ.

В настоящее время Узгидромет располагает цифровой спутниковой информацией с полярно-орбитальных метеорологических искусственных спутников земли серий NOAA. Спутник снимает информацию посредством усовершенствованного радиометра высокого разрешения (AVHRR) и передает эти данные на Землю в формате HRPT (High resolution Picture Transmission).

На основе этой спутниковой информации создана система определения степени покрытости снегом горных бассейнов. Система состоит из нескольких блоков: прием и первичная обработка снимков, географическая привязка, выделение территории, покрытой снегом, расчет площадей заснеженности по высотным зонам методами географической информационной системы (ГИС). Для выполнения задач картографирования снежного покрова использовалась разработанная автоматизированная система. Задача сведена к разделению исходного спутникового изображения на два непересекающихся класса «СНЕГ» и «НЕ СНЕГ» (рис. 1).

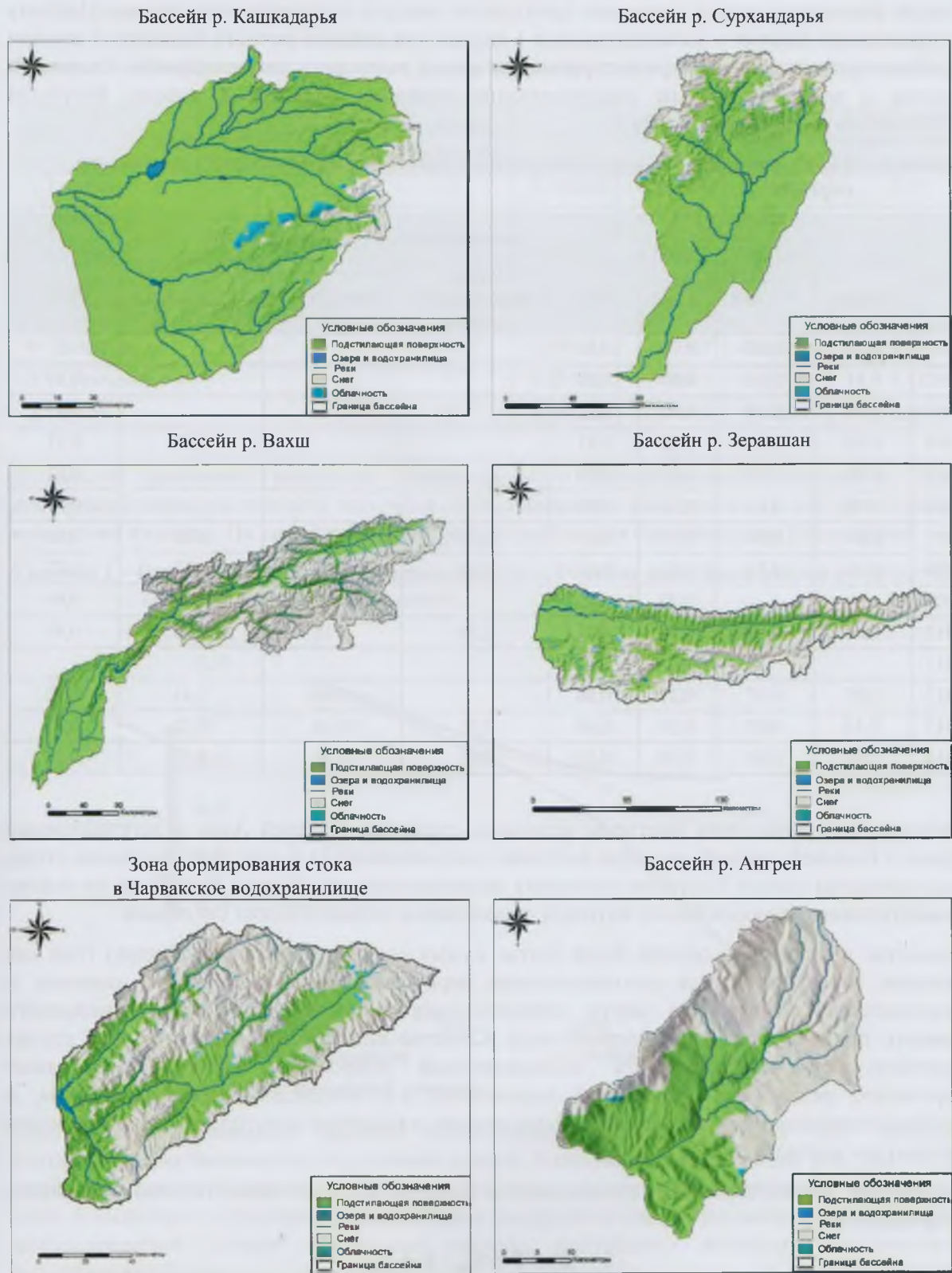
Подсистема тематической обработки спутниковой информации обеспечивает возможность распознавания снежного покрова на географически привязанном и калиброванном спутниковом изображении.

Для того, чтобы осуществить распознавание классов на спутниковом изображении, первоначально производится радиометрическая калибровка каналов спутникового изображения и географическая привязка. Радиометрическая калибровка спутниковых каналов позволяет получить значения альбедо для видимых спектральных диапазонов (1, 2 каналы) и значение температуры по шкале Кельвина для инфракрасных спектральных диапазонов (4, 5 каналы).

После радиометрической коррекции производится автоматическая географическая привязка по орбитальным данным, полученным с борта спутника во время приема спутниковой информации. В случае недостаточной точности автоматической привязки производится процедура интерактивной географической привязки спутникового изображения с использованием географических контрольных точек. И только после этого, выполняется процедура распознавания снежного покрова.

Результатом всей процедуры обработки спутникового изображения является информация о доли заснеженности каждого рассматриваемого речного бассейна на дату снимка.

Рисунок 1 – Карты заснеженности некоторых бассейнов рек на 28 апреля 2015 года, созданные на основе данных, полученных со спутника NOAA



В данном исследовании в качестве предикторов будут использоваться данные о доле заснеженности речного бассейна на начало вегетационного периода – 1 апреля. К сожалению, получение пригодных снимков именно на этот день – сложная задача, несмотря на то, что спутник NOAA проходит над территорией Узбекистана ежедневно. Облачность над горами – причина больших временных перерывов между информационно-значимыми снимками. Особенно больших интервалов между снимками приходится ожидать в начале сезона таяния. Поэтому для приведения данных о заснеженности к 1 апреля для каждого речного бассейна в каждом году была проведена процедура интерполяции между последним информационно-значимым снимком в марте и первым информационно-значимым снимком в апреле. Результат интерполяции представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Доля заснеженности некоторых речных бассейнов на начало вегетационного периода

Год	Бассейн реки							
	Ангрен	Чаткал	Угам	Пскем	Север Ферганской долины	Кашкадарья	Сурхандарья	Вахш
2001	0,78	0,86	0,70	0,88				
2002	0,81	0,91	0,67	0,89				0,89
2003	0,89	0,98	0,90	0,95				0,92
2004	0,84	0,96	0,63	0,91			0,41	0,91
2005	0,80	0,96	0,67	0,90				0,91
2006	0,78	0,93	0,55	0,85				0,87
2007	0,87	0,96	0,93	0,95	0,69	0,23	0,26	0,96
2008	0,65	0,74	0,47	0,82	0,33	0,12	0,17	0,77
2009			0,97			0,20	0,22	0,86
2010	0,86	0,92	0,68	0,91	0,56	0,18	0,22	0,88
2011								
2012	0,95	0,97	0,87	0,96		0,40	0,41	0,95
2013	0,74	0,83	0,59	0,88	0,51	0,16	0,22	0,81
2014	0,91	0,94	0,78	0,68	0,55	0,26	0,27	0,94

Учитывая, что решающим фактором величины стока рек Средней Азии в вегетационный период в большей степени является величина снегонакопления в зоне формирования стока, была проведена оценка будущего состояния заснеженности по речным бассейнам на основе множественного регрессионного метода и обновленных климатических сценариев.

В качестве предикторов оценки были взяты: сумма осадков в холодный период года как величина, характеризующая снегонакопление перед началом вегетационного периода, и среднемесячная температура марта, определяющая динамику изменения накопленного снежного покрова в холодный период года. Качество аналитической связи в этом случае характеризуется коэффициентом множественной корреляции, который описывает корреляцию между предсказываемой переменной, т.е. площадью снежного покрова, и линейной комбинацией предикторов (сумма осадков в холодное полугодие и среднемесячная температура марта) (табл. 2).

Результатом множественного регрессионного анализа является аналитическое уравнение следующего вида:

$$S = K_T \cdot T + K_R \cdot R + Y_0,$$

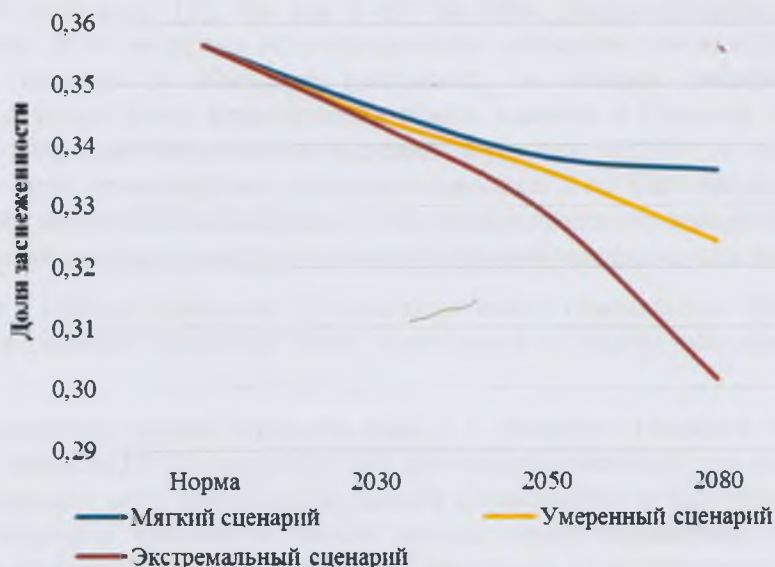
где S – доля площади снежного покрова от общей площади бассейна,
 T – среднемесячная температура марта,
 R – сумма осадков в холодное полугодие,
 K_T – коэффициент при среднемесячной температуре марта,
 K_R – коэффициент при сумме осадков в холодное полугодие,
 Y_0 – пересечение с осью Y .

Таблица 2 – Коэффициенты уравнения регрессии множественного регрессионного анализа

№	Бассейн реки	Количество наблюдений	Y_0	K_R	K_T	Коэффициент множественной корреляции
1	Ангрен	11	0,766269	-0,000100	-0,038039	0,79
2	Чаткал	6	0,661325	0,000449	-0,013363	0,88
3	Угам	9	0,545623	0,000012	-0,069853	0,95
4	Пскем	7	0,823446	0,000039	-0,019874	0,85
5	Гавасай (север Ферганской долины)	5	0,351933	0,000276	-0,039375	0,87
6	Кашкадарья	6	0,084995	0,000387	-0,020066	0,97
7	Сурхандарья	7	-0,025265	0,000611	-0,007278	0,85
8	Вахш	10	0,763728	-0,000073	-0,019230	0,65

Используя уравнение регрессии множественного регрессионного анализа и данные сценариев изменения климата, получена оценка динамики заснеженности для трех сценариев изменения климата. На рис. 2 приведен пример оценки для бассейна реки Кашкадарья.

Рисунок 2 – Оценка динамики доли заснеженности в бассейне реки Кашкадарья по различным сценариям изменения климата



Принимая во внимание наличие необходимых входных данных для анализа и статистическую значимость выявленных связей, были выделены бассейны рек, для которых проведена оценка будущего вегетационного стока по трем климатическим сценариям. В табл. 3 выделены результаты оценки водных ресурсов на основе климатических сценариев с использованием данных о снежном покрове, полученных методами дистанционного зондирования Земли.

Таблица 3 – Оценка вегетационного стока (в % от нормы) рек, наиболее подверженных климатическим изменениям

Река, пост	Норма (м ³ /с)	Вегетационный сток (в % от нормы)								
		Мягкий сценарий			Умеренный сценарий			Экстремальный сценарий		
		2030	2050	2080	2030	2050	2080	2030	2050	2080
Пскем – Муллала	128	94	89	86	93	87	79	92	82	66
Ахангаран – Ирташ	37	87	83	79	87	80	72	86	75	58
Чаткал – Худойодсай	195	99	98	99	99	98	97	99	97	95
Угам - Ходжикент	34,2	92	89	86	92	86	79	91	82	67
Гавасай – кишл. Гава	10,2	93	87	83	92	84	74	91	78	58
Вахш – Комсомолобод	988	99	98	97	99	98	96	99	96	93
Кашкадарья – Чиракчи	25	94	91	90	94	90	86	93	88	78

Основной вывод по результатам проведенных оценок заключается в том, что сток Чирчик-Ахангаранского бассейна, малых рек севера Ферганской долины и Кашкадарьи окажется более подверженным климатическим изменениям и сокращению в рассматриваемой перспективе (2030, 2050, 2080 годы). Вместе с тем, данные выводы являются предварительными и будут дорабатываться в процессе пополнения базы данных дистанционного зондирования, дальнейшей количественной и качественной оценки и моделировании изменений по обновленным сценариям.