

## РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЯ

УДК 911.52:556.512(571.150)

### АЛГОРИТМ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК СТЕПНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОН В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков, Д.К. Першин

**Ключевые слова:** ландшафтная гидрология, структура и функционирование геосистем.

#### Введение

В условиях степной и, в меньшей степени, лесостепной зон вода является дефицитным ресурсом, а недостаток воды – основным лимитирующим фактором. Как следствие, оптимальная организация территории предполагает максимально эффективное и рациональное использование водных ресурсов.

Применительно к большинству речных бассейнов в настоящее время правомерно говорить о дефиците гидрометеорологической информации. Существующая ситуация не отменяет таких взаимосвязанных территориальных задач, как минимизация исходящего от гидрологических объектов ущерба, оптимизация природопользования на водосборе в существующих и меняющихся природных и природно-антропогенных обстановках.

В условиях недостаточной изученности территории и дефицита исходных экспериментальных данных существенно возрастают возможности ландшафтного подхода за счет использования методических приемов индикации, таких как аналогия, генерализация, интерполяция, экстраполяция. Ландшафтный подход (ландшафтоведение, ландшафтная экология) традиционно ориентирован на решение практических задач, связанных с различными аспектами управления территорией. Согласно Diaz, Apostol [15], стандартная процедура ландшафтного исследования состоит из двух фаз – ландшафтного анализа и ландшафтного дизайна. В фазе ландшафтного анализа основные шаги это: 1) идентификация, картографирование и описание структурных элементов ландшафта; 2) идентификация и картографирование ландшафтных потоков (процессов); 3) выявление связей между структурными элементами ландшафта и потоками; 4) описание того, какое влияние на ландшафт оказывают нарушения; 5) перенос выявленных зависимостей на соседние территории. Шаги, составляющие фазу ландшафтного дизайна, специфичны для различных направлений, где используется ландшафт-

ный подход, и включают в себя мероприятия по оптимизации структуры ландшафта. Применительно к использованию водных ресурсов должна быть предложена такая организация ландшафтов речного бассейна, которая бы позволяла геосистемам наиболее эффективно выполнять гидрологическую функцию без ущерба для других функций.

Много десятилетий назад обоснованы и развиваются идеи по исследованию формирования стока на ландшафтной основе. Эти идеи отражены в работах В.Г. Глушкова [6], А.И. Субботина [11, 12], Н.И. Коронкевича [9], А.Н. Антипова и Л.М. Корытного [1], А.Н. Антипова и В.Н. Федорова [2], Ю.Б. Виноградова [5], В.Н. Федорова [14] и др.

Для территорий с дефицитом гидрометеорологической информации нами предложен алгоритм ландшафтно-гидрологических исследований, который с некоторыми отличиями может быть реализован как на субрегиональном (бассейны крупных рек, субъекты РФ) так и на локальном (бассейны малых и средних рек, муниципальные образования) уровнях. Алгоритм включает в себя несколько блоков (этапов), каждый из которых завершается построением серии ландшафтно-интерпретационных карт. В обобщенном виде это:

1. Подготовка на основе синтеза цифровой модели рельефа (ЦМР), результатов дешифрирования данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и полевых описаний ландшафтной основы, масштаб которой определяется размерами модельной территории.

2. Адаптация исходной ландшафтной основы и построение интерпретационных первичных ландшафтно-гидрологических карт на основе частных и комбинативных характеристик ландшафтно-гидрологического фона (климато-, литолого-гидрологический фон, особенности местоположения).

3. Выбор нескольких наиболее информативных и значимых с гидрологических позиций показателей, характеризующих отдельные внутригодовые состояния геосистем и построение на их основе

второй группы интерпретационных ландшафтно-гидрологических карт снегозапасов, полевой влажности, запасов почвенной влаги и т.д. Под состояниями геосистемы в ландшафтоведении понимают более или менее длительные отрезки ее существования, характеризующиеся определенными свойствами структуры и набором процессов [3, 7, 10]. Во время нахождения в каждом из состояний этот набор процессов в геосистеме и их интенсивность различны, поэтому она будет «жить» или функционировать по-разному. Без характеристики состояний геосистем и оценки их вклада в ту или иную составляющую функционирования (в нашем случае, в гидрологическую функцию) понять и корректно представить механизм этого функционирования невозможно. В зависимости от уровня исследования исходные материалы могут быть получены либо по литературным данным (субрегиональный уровень), либо на основе инструментальных наблюдений в течение одного или нескольких гидрологических лет.

4. Расчет гидрологической функции геосистем (коэффициенты, слои стока) на различные фазы гидрологического года и построение ландшафтно-гидрологических карт коэффициентов и слоев стока.

5. Разработка классификации ландшафтно-гидрологических комплексов (ЛГК) с учетом различной активности геосистем по отношению к стоку [13] и преимущественных функций: стокоформирование, стокорегулирование, водопоглощение. Для каждого из классов предлагаются свои оптимальные режимы природопользования.

#### Материалы и методы исследования

Работа выполнялась на двух уровнях – субрегиональном и локальном. На субрегиональном уровне в качестве полигона исследования принята территория Алтайского края. Кроме самостоятельной ценности субрегиональный уровень служит основой для работы на локальном уровне.

Выбор модельного бассейна для локального уровня определялся следующими факторами: 1) однородность в региональном отношении (зональная однородность и принадлежность к одной морфоструктуре); 2) длительный и желателен непрерывный период метеорологических и гидрологических наблюдений. Таким условиям в пределах Алтайского края отвечает бассейн р. Касмала (южная лесостепь, Приобское плато). Гидрологический пост на р. Касмала (с. Рогозиха) непрерывно работает с 1940 г. Непосредственно в бассейне функционирует метеостанция Ребриха.

Для субрегионального уровня в качестве ландшафтной основы использовалась ландшафтная карта, разработанная в ИВЭП СО РАН масштаба

1:500000. При разработке ландшафтной основы на модельный бассейн р. Касмала использованы следующие исходные материалы: топографические карты масштабов 1:25000–1:100000; материалы космической съемки Landsat TM; данные сервисов Google maps, Bing Maps и др.; почвенные и геоботанические карты из фондов ИВЭП СО РАН, многолетние ландшафтные описания авторов. Кроме этого авторами в бассейне р. Касмала в течение 2011–2014 гг. проводились снегомерные съемки, а в 2012–2013 гг. – отбор проб на влажность почв.

#### Результаты и обсуждение

Субрегиональный уровень. На основе ландшафтной карты Алтайского края разработана серия интерпретационных карт. На них отражены статические, т.е. неменяющиеся в течение гидрологического года характеристики геосистем, значимые с гидрологических позиций.

Карта климато-гидрологического фона. Выделено 8 классов геосистем на основе значений гидро-термического коэффициента (ГТК): 1)  $<0,70$  – сухая зона; 2)  $0,70–0,85$  – засушливая зона; 3)  $0,85–1,00$  – умеренно-засушливая зона; 4)  $1,00–1,15$  – умеренно-влажная зона; 5)  $1,15–1,30$  – влажная зона; 6)  $1,30–1,40$  – умеренно-избыточно-влажная зона; 7)  $1,40–1,60$  – избыточно-влажная зона; 8)  $>1,60$  – экстремально-влажная зона (табл. 1; рисунок 1а).

Карта литолого-гидрологического фона. Выделено 5 классов геосистем на основе значений одной из важнейших почвенно-гидрологических констант – предельной полевой влагоемкости (% для верхнего метрового слоя почвы): 1) тяжелосуглинистые и глинистые – более 35; 2) средне- и легкосуглинистые – 25–35; 3) супесчаные – 20–25; 4) песчаные, песчано-галечниковые и валунные – 15–20; 5) кристаллические породы и продукты их выветривания – менее 15 (табл. 1; рисунок 1б).

Карта типов местоположений. Выделено 8 классов геосистем на основе преобладающих функций в течение гидрологического года: 1) транзитно-автономные; 2) автономно-транзитные; 3) транзитные; 4) аккумулятивно-транзитные; 5) регулятивно-транзитные; 6) транзитно-регулятивные; 7) транзитно-аккумулятивные; 8) аккумулятивно-транспирационные (табл. 1; рисунок 1в).

Таким образом, комбинация позволяет выделить 320 возможных классов геосистем по характеристикам ландшафтно-гидрологического фона. Реально на территории Алтайского края представлены 72 класса. Некоторые их характеристики приведены в таблице 1 (матрица). Данные классы можно рассматривать в качестве потенциальных ландшафтно-гидрологических комплексов, по-разному трансформирующих фоновые показатели.

Таблица 1

Комбинативные ландшафтно-гидрологические классы геосистем Алтайского края

		Климато-гидрологический фон									
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Литолого-гидрологический фон	1	1					41/5745/3.4				
		2				47/5641/3.4	35/8845/5.3	37/3797/2.3	44/2493/1.5		
		3				5/315/0.2					
		4				14/286/0.2	33/2524/1.5	23/585/0.3			
	2	1	7/2306/1.4	13/11337/6.8	14/3490/2.1	20/8949/5.3					
		2		27/2012/1.2	32/4236/2.5	43/4919/2.9	24/1449/0.9				
		4		30/1369/0.8	32/1177/0.7	57/3692/2.2					
		7				17/1557/0.9					
	3	Местоположения	1	10/9788/5.8	10/1247/0.7						
			4	2/53/0	3/83/0.1						
			5			11/370/0.2	21/1247/0.7	14/285/0.2			
			6		5/1194/0.7			15/470/0.3			
			7	2/324/0.2	44/4305/2.6	49/2965/1.8	92/5823/3.5	36/863/0.5			
	4	Местоположения	8	10/930/0.6		4/384/0.2	4/40/0				
			4		3/427/0.3			9/204/0.1			
			5		1/350/0.2	4/515/0.3	4/1752/1	20/6224/3.7	36/1907/1.1	77/2323/1.4	15/66/0
			6	23/5970/3.6	11/2730/1.6	15/391/0.2	44/2527/1	41/7686/4.6	8/58/0		
			7		15/1169/0.7	5/440/0.3	18/736/0.4	23/1221/0.7	14/128/0.1		
	5	Местоположения	8	60/3051/1.8							
			2			1/121/0.1		14/520/0.3	34/766/0.5	44/778/0.5	27/248/0.1
3				2/88/0.1	9/131/0.1	19/408/0.2	55/2096/1.2	100/6233/3.7	152/8482/5	32/1097/0.6	
		7					4/21/0				

Первая цифра в ячейке – количество контуров данного класса, вторая – суммарная площадь объектов данного класса, третья – доля площади класса от общей площади Алтайского края.

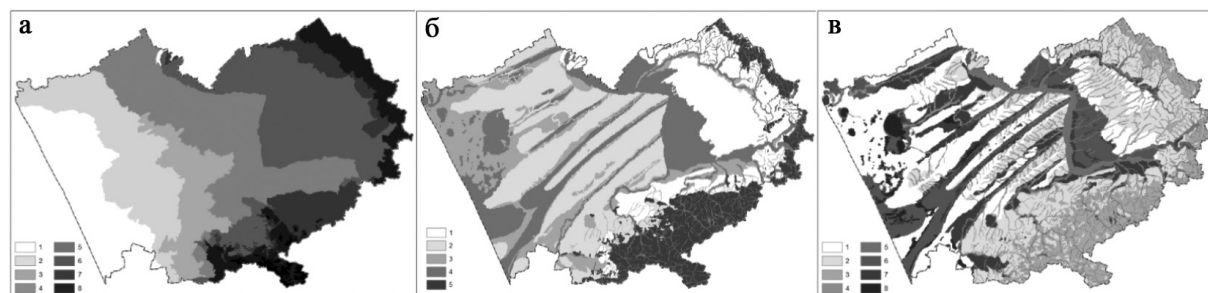


Рисунок 1. – Статические гидрологические характеристики классов геосистем Алтайского края

Трансформация ландшафтно-гидрологического фона происходит в процессе функционирования геосистем, поэтому ее целесообразно рассматривать через их внутригодовые состояния и исследовать на внутриландшафтном (локальном уровне).

Локальный уровень. Для модельного бассейна р. Касмала разработана детальная ландшафтная основа, алгоритм работы над которой описан в работе [4]. Выделено 25 уникальных классов «экспозиция-крутизна», 16 типов наземных покровов (land cover) и 8 классов поверхностных отложений. Таким образом, базовая основа представляет собой набор уникальных контуров, содержащих информацию о характеристиках рельефа, литологии, актуальном состоянии почвенного и растительного покровов.

Уже на этом этапе удалось вычленить некоторые особенности территории, позволяющие понять функционирование бассейна. В частности, показательно, что большая часть территории бассейна р. Касмала характеризуется как плоская поверхность, т.е. имеет углы наклона менее 1°. При этом с гидрологических позиций теряется смысл в выделении в пределах увалов, разделяющих ложбины древнего стока на Приобском плато, вершинных и склоновых поверхностей, что было традиционным для предшествующих исследований. Такая ситуация объясняет практически полное отсутствие стока со значительной части бассейна в р. Касмала, что и было отмечено инструментальными наблюдениями и расчетами.

В силу ограниченности возможностей для стационарных наблюдений как в пределах модельного бассейна, так и в большинстве других территорий, было выбрано несколько ключевых показателей, которые можно было получить с помощью инструментальных наблюдений, и которые максимально характеризуют отдельные состояния геосистем.

Первым из таких интегральных показателей являются снегозапасы по классам геосистем. С одной стороны, они отражают зимнее функционирование ландшафтов, с другой, в значительной мере, определяют функционирование в период весеннего половодья. В 2010–14 гг. проводились маршрутные снегомерные съемки в период максимального снегонакопления (вторая декада марта), охватывающие все основные классы геосистем бассейна. Выявлено, что максимальные величины снегозапасов отмечаются на северных и северо-восточных склонах эрозионных форм рельефа и на участках с подветренных сторон лесополос. Здесь величины снегозапасов могут превышать 300 мм при более чем метровой мощности снежного покрова, в то время как средние значения этих величин по увалам колеблются от 58 до 280 мм в различные годы. Благоприятные условия для аккумуляции твердых осадков создаются в колочных лесах, где снегозапасы в среднем на 17 мм больше чем на открытых участках, причем в разреженных колках снега накапливается в среднем на 14% больше, чем в сомкнутых. Снежный покров в сосновом бору более равномерный из-за слабого воздействия ветра, величины снегозапасов по годам колеблются от 60 до 150 мм.

Второй показатель – июльские запасы влаги в почвах основных классов геосистем. Показатель определен по материалам полевых исследований в контрастные по метеоусловиям 2012 и 2013 годы. В качестве интегрального показателя соотношения тепла и влаги был использован частный гидротермический коэффициент Селянинова, рассчитанный как отношение количества осадков к сумме среднесуточных температур уменьшенных в десять раз за период с апреля по июль в интервале 1940–2008 гг. по данным ГМС Ребриха. За весь период инструментальных наблюдений ГТК 2012 г. (0,56) близок к ГТК наиболее жаркого и сухого 1963 г. (0,33), а ГТК 2013 г. (1,38) – к ГТК наиболее холодного и влажного 1993 г. (2,24). Таким образом, рассматриваемые годы с некоторыми ограничениями можно принять за экстремумы в диапазоне значений соотношения тепла и влаги, в которых функционируют геосистемы рассматриваемого бассейна.

Запасы влаги наиболее изменчивы в гидроморфных местоположениях, занимающих нижние звенья ландшафтных сопряжений. У этих местоположе-

ний достаточно широкий диапазон функционирования, в зависимости от изменяющихся фоновых условий. Например, на заболоченном участке в тыловой части поймы Касмалы в 2013 г. запасы влаги были на 33% выше, чем в 2012 году. Такие местоположения в то же время являются и наиболее увлажненными участками для всей территории бассейна, обладая запасами влаги, которые могут достигать 400 мм и влажностью от 35 % до 100 % и более, а некоторые заболоченные понижения в 2013 г. были и полностью обводнены.

Экспозиционные факторы дифференциации влаги в почве особенно ярко проявляются на склонах увалов: залесенные северные и северо-восточные склоны обладают запасами влаги в 2 раза большими, чем склоны других экспозиций. Вершины грив ложбины древнего стока и хорошо дренированные, приводораздельные поверхности увалов характеризуются незначительным варьированием показателей почвенной.

Июльские влагозапасы в почвах, с одной стороны характеризуют функционирование геосистем в летний период, а с другой – позволяют подойти к характеристике реального увлажнения геосистем, например, через расчет локальных коэффициентов увлажнения [8].

### Выводы

1. Разработан и начал реализовываться алгоритм ландшафтно-гидрологических исследований, позволяющий оценивать отдельные характеристики, структуру и функционирование геосистем в условиях дефицита гидрометеорологической информации. Данный алгоритм может быть использован как на субрегиональном, так и на локальном уровнях.

2. На субрегиональном уровне для Алтайского края составлена серия интерпретационных ландшафтно-гидрологических карт, отражающая статические характеристики геосистем. Выделено 72 комбинативных класса геосистем (ландшафтно-гидрологических комплексов), по-разному трансформирующих фоновые показатели.

3. На локальном уровне для бассейна р. Касмала построена детальная ландшафтная основа, которая в сочетании с рядом ключевых показателей инструментальных наблюдений (снегозапасы, июльские запасы влаги в почве) позволяет оценить основные закономерности функционирования бассейна с позиций ландшафтной гидрологии.

### Библиографический список

1. Антипов А.Н., Корытный Л.М. Географические аспекты гидрологических исследований (на примере речных систем Южно-Минусинской котловины). Новосибирск: Наука, 1981. 177 с.

2. Антипов А.Н. Федоров В.Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 254 с.
3. Беручашвили Н.Л. Геофизика ландшафта. М.: Высшая школа, 1990. 288 с.
- Бирюков Р.Ю. Интеграция разнородной пространственно-распределенной информации средствами ГИС при создании основы для ландшафтно-гидрологических карт // Мир науки, культуры, образования. – 2013. № 2. С. 307–314.
4. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока (опыт критического анализа). Л.: Гидрометеиздат, 1988. 312 с.
5. Глушков В.Г. Географо-гидрологический метод // Изв. ГГИ, 1933. № 57–58. С.5–9.
6. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 365 с.
7. Коломыц Э.Г. Локальные коэффициенты увлажнения и их значение для экологических прогнозов // Изв. РАН. Серия географич., 2010. № 5. С. 61–72.
8. Коронкевич Н.И. Преобразование водного баланса. М.: Наука, 1973. 120 с.
9. Мамай И.И. Динамика и функционирование ландшафтов. М.: МГУ. 2005. 139 с.
10. Субботин А.И. и др. Ландшафтно-гидрологический принцип изучения стока // Ландшафтный сборник. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 175–189.
11. Субботин А.И. О ландшафтном направлении в гидрологии // Водные ресурсы, 1983. № 6. С. 42–51.
12. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы / Аналитический обзор. Серия «Экология». Вып. 64. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2002. 114 с.
13. Федоров В.Н. Ландшафтная индикация формирования речного стока. Иркутск-М.: Изд-во Инта географии им. В.Б. Сочавы, 2007. 175 с.
14. Diaz, N., Apostol, D. (1992). Forest Landscape Analysis and Design: A Process for Developing and Implementing Land Management Objectives for Landscape Patterns. USDA Forest Service, PNW Region, Portland, OR R6 ECO-TP-043-92.

УДК 582.52/59

## КЛЮЧ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВ РОДА STIPA L. (КОВЫЛЬ) ЮЖНОЙ СИБИРИ

П.Д. Гудкова, М. Нобис, М.В. Олонова

Ключевые слова: *Stipa L.*, доминант, степь, Южная Сибирь.

Род *Stipa L.* (ковыль) – один из наиболее крупных родов злаков (Poaceae), насчитывающий около 150 видов распространенных преимущественно в семиаридных и аридных районах Евразии и северной Африки [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]. Ковыль традиционно считается трудным в систематическом отношении из-за значительного полиморфизма, малого числа диагностических признаков и современных гибридизационных процессов. Уточнение видового состава и распространения видов рода *Stipa* имеет не только теоретическое, но и важное практическое значение, поскольку многие виды являются доминантами и субдоминантами степных сообществ различного экологического ряда от луговых до сухих степей, а так же что, ковыли имеют хозяйственное значение, главным образом, как кормовые растения.

В степной зоне России, включая Сибирь, из-за интенсивной хозяйственной деятельности многие ковыли находятся на грани исчезновения и занесены в «Красную книгу Российской Федерации» [11] и региональные «Красные книги». Для проведения

эффективных мероприятий по сохранению ковылей большое значение имеет определение признаков и пределов их изменчивости обеспечивающих надежное определение видов, а так же уточнение их географического распространения.

Существующие в настоящее время ключи для определения ковылей Сибири во «Флоре Западной Сибири» [12], «Флоре Сибири» [13] и региональных определителях вышли более 10 лет назад. С тех пор накоплено много новых данных.

Основной задачей исследования было создание диагностического ключа для видов рода *Stipa* Южной Сибири с учетом современных данных о их систематике и распространении.

Материалом послужила ревизия гербарных фондов LE, MW, MHA, TK, KRA, AA, NS, ALTB, KRAS, SVER, KUZ, IRK, а так же собственные сборы авторов из различных регионов Южной Сибири (Новосибирской, Кемеровской, Иркутской областей; республики Алтай, Хакасия, Бурятия и Алтайского края).