

УДК 911.6

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО СИНХРОННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ЗИМНЕГО СТОКА РЕК (НА ПРИМЕРЕ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

М.Н. Бубин

Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ

E-mail: mikhaibubin@rambler.ru

Рациональное использование водных ресурсов актуальная проблема для крупнейших экономических районов. Зонально-территориальный принцип выявления гидрологических районов составляет основу рационального природопользования. В статье приводится районирование Челябинской области по синхронности многолетних колебаний зимнего стока рек на основе кластерного и корреляционного анализов, внутрирайонных коэффициентов корреляции Спирмэна, вероятностей внутри и межкластерных связей с учетом природной зональности. Установлено три района и четыре подрайона с синхронными колебаниями зимнего стока рек на исследуемой территории.

Ключевые слова:

Челябинская область, рациональное использование водных ресурсов, зимний сток рек, многолетние колебания зимнего стока, кластерный анализ, районирование территории.

Key words:

Chelyabinskaya oblast, rational utilization of water resources, wintry river flow, multiyear fluctuation wintry flow, cluster analysis, zonation of territory.

Проблема рационального использования водных ресурсов является актуальной, что особенно важно для крупнейших экономических районов России, каким является Челябинская область. Рассматриваемая территория недостаточно обеспечена водой, в области развиты водоемкие отрасли промышленности (металлургия, машиностроение), что требует рационального подхода к использованию водных ресурсов. Их практическое использование основано на зонально-территориальном принципе, поэтому выявление гидрологических районов является актуальной задачей. Проблема рационального использования водных ресурсов усугубляется, когда происходит сезонное уменьшение количественных характеристик стока рек в зимний период. Поэтому основной целью данной работы явилось выявление гидрологических районов с синхронными многолетними колебаниями зимнего стока рек на территории Челябинской области. Предложенный подход необходимо учитывать при планировании и организации использования не только водных, но и земельных ресурсов.

Среди работ, посвященных районированию территории по условиям формирования стока рек Южного Урала, где расположена Челябинская область, следует отметить исследования В.Д. Быкова, А.С. Шкляева, М.А. Андреевой, Н.С. Рассказовой и др.

Общая схема районирования территории Урала была представлена в работе П.С. Кузина [1], где в общем плане рассматривался характер многолетнего стока рек. Более подробное районирование осуществлено В.Д. Быковым [2], где автор исследовал роль географических факторов в формировании стока рек Урала. В основе районирования лежала тесная связь гидрологических явлений с окружающей средой.

Большого внимания заслуживает районирование Среднего и Южного Урала А.С. Шкляева [3] по преобладающему влиянию форм атмосферной циркуляции на речной сток. На основе анализа взаимодействия циркуляционных процессов с подстилающей поверхностью и характера их влияния на гидрометеорологические условия им были выделены районы с однородными по характеру воздействия форм атмосферной циркуляции на сток.

Выделение гидрологических районов в бассейне р. Тобол по условиям формирования годового стока проводилось К.Е. Орловой [4]. При этом учитывались особенности циркуляционных процессов на территории Урала. В исследовании проведена подробная детализация районирования, обусловленная характером воздействия атмосферной циркуляции на гидрометеорологический режим; в результате предложенная схема оказалась близкой к районированию А.С. Шкляева [3].

В работе Л.Ф. Силаевой [5] предложено районирование территории Урала на основе особенностей географического распределения численного параметра, характеризующего характер стока внутри теплого сезона года. Данное районирование является неполным, так как учитывало наблюдения только одного гидрологического периода.

Исследование М.А. Андреевой [6] посвящено районированию территории Челябинской области по особенностям внутригодового распределения стока рек. При выделении районов учитывались внутригодовые количественные показатели стока. В результате выявлены четыре гидрологических района на основании сходных климатических и гидрологических условий рек.

Районирование территории Тобольского бассейна по характеру колебаний годового стока представлено в работе Н.С. Рассказовой [7]. Более подробное исследование Камского и Тобольского бас-

сейнов приведено в следующем исследовании Н.С. Рассказовой [8]. При выделении гидрологических районов учитывались связи стока с космо- и геофизическими факторами. Анализ результатов исследований показал, что структура колебаний величин стока характеризуется набором циклов, локализованных преимущественно в пределах районов с синхронными колебаниями стока. Установлено, что районы, обособляющиеся по синхронности, имеют особенности в ритмике стока рек.

Анализ работ показывает, что выявление гидрологических районов исследуемой территории проводилось по определенным критериям и особенностям, но районирование по признаку синхронности многолетних колебаний зимнего стока рек Челябинской области исследователями не рассматривалось. Данная работа посвящена подробному изучению синхронных многолетних колебаний зимнего стока рек Челябинской области. Исследуемая территория представляет научный интерес, так как расположена в трех природных зонах (горно-лесной, лесостепной, степной), находящихся друг от друга на сравнительно небольшом расстоянии, где наблюдается разнообразие природных условий, приводящих к различию гидрологического режима рек. Проведение данного исследования необходимо с целью рационального использования природных ресурсов.

Исходными материалами для изучения послужили среднемесячные характеристики речного стока (модули стока, л/(с·км²)). Данные наблюдений за реками предоставлены ГУ «Челябинским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». При проведении исследований за зимний гидрологический сезон принимался период с ноября по март. Необходимо учесть, что наступление зимней межени на реках Челябинской области происходит не одинаково из-за различия природных условий Предуралья и Зауралья. Для проведения исследования границы зимнего гидрологического сезона приняты едиными для всей территории, всех лет, с округлением до месяца [9]. Поскольку определение границ сезонов носит условный и дифференцированный характер [10] и площадь водосборов исследуемых рек небольшая (в среднем 4000 км²), то для исследования приняты границы, ранее обозначенные В.Д. Быковым [2] и М.А. Андреевой [6].

Изучение синхронных многолетних колебаний зимнего стока производилось на основе наиболее длительных гидрологических рядов (36 лет), что адекватно отражает проявление синхронности и заслуживает доверие. Все это подтверждается приведенными далее результатами исследования исходных данных.

При установлении достоверности репрезентативных рядов высчитывалась относительная среднеквадратичная ошибка среднего многолетнего значения ряда, которая не превысила допустимую норму – 10 %. Данный показатель является пре-

дельно допустимым для постоянных физико-географических условий [9].

Для определения точности оценки параметров исследуемых рядов проводилась их проверка на однородность. Главной целью проверки явилось установление принадлежности величин средних значений гидрологических рядов к одной и той же генеральной совокупности. Вычисления велись с использованием закона распределения Стьюдента [11]. Предел вероятности ошибки при заданном уровне значимости (99,5 %) не превысил отношения критической точки к средней квадратичной ошибке. Предел по результатам вычислений составил $\pm 3,5$ л/(с·км²). Расчеты показали, что при продолжительной длине ряда вероятность больших ошибок не существенна.

С целью установления закономерностей многолетних колебаний зимнего стока рек выполнено исследование их синхронности по 17 гидрологическим постам наблюдения, равномерно расположенных по территории Челябинской области, и произведено районирование территории (табл. 1).

Таблица 1. Гидрологические посты на реках Челябинской области, данные по которым использованы при построении дендрограмм

№	Река – пост
1	р. Юрюзань – Вязовая
2	р. Юрюзань – Екатериновка
3	р. Сим – Миньяр
4	р. Уфа – Нязепетровск
5	р. Ай – Златоуст
6	р. Ай – Веселовка
7	р. Миасс – Костыли
8	р. Уй – Степное
9	р. Уй – Плодопитомник
10	р. Синара – Верхне-Ключевское
11	р. Увелька – Карсинский
12	р. Увелька – Красносельское
13	р. Карталы-аят – Карталы
14	р. Теча – Муслумово
15	р. Урал – Верхнеуральск
16	р. Урал – Кизильское
17	р. Гумбейка – Наваринский

Основным методом исследования являлась версия кластерного анализа, реализованная в ИС «Природа» [12]. Ее суть заключается в выделении кластеров на основе многомерной матрицы с последующим выбором оптимального уровня сходства и числа кластеров. Версия характеризуется достаточно простым представлением результатов в виде дендрограммы (или дерева ветвления), показывающих какие группы рек (или кластеры) образуются на каждом уровне корреляции (или сходства). В данной версии сводится к минимуму субъективизм исследователя при выборе уровня кластеризации.

При использовании кластерного анализа определялся оптимальный уровень сходства согласно

критерию Дорофеюка–Лумельского. Результаты представлены в виде дендрограмм двух видов, расчетной (табл. 2) и графической (рис. 1). В первом случае дендрограмма имеет вид таблицы и представляет собой последовательности объединяемых в кластеры номеров объектов, заложенных в виде временных рядов на каждом уровне сходства – R (от $-0,6$ до $+1$). В графической таблице слева приводится таблица численных значений различных критериев J_1-J_2 или D_j качества кластеризации объектов на этих же уровнях сходства. По их максимуму выбирается оптимальный вариант разбиения на кластеры и наиболее вероятное положение границ районов. Для подтверждения вероятности попадания объектов (рек) в ту или иную группу рассчитывался ранговый критерий корреляции Спирмэна и критические точки распределения Стьюдента, определяющие величину вероятности связи двух рядов. В гидрологии связь считается надежной при вероятности не менее 95 % [13]. Сущность критериев качества кластеризации подробно изложена в работах А.А. Дорофеюка и В.Я. Лумельского [14], Н.С. Рассказовой [8]. Для проверки обоснованности полученного кластерного решения использовался метод повторной выборки [15].

При анализе дендрограмм зимнего периода 1968–2003 гг. (рис. 1, табл. 2) выделяется оптимальный уровень кластеризации $R=0,6$ ($J_1-J_2=0,393$ и $D_j=0,374$); на нем образуются семь кластеров.

Первый кластер объединяется на высоком уровне $R=0,8$ и включает объекты (реки) горно-лесной зоны: р. Сим – Миньяр, р. Юрюзань – Вя-

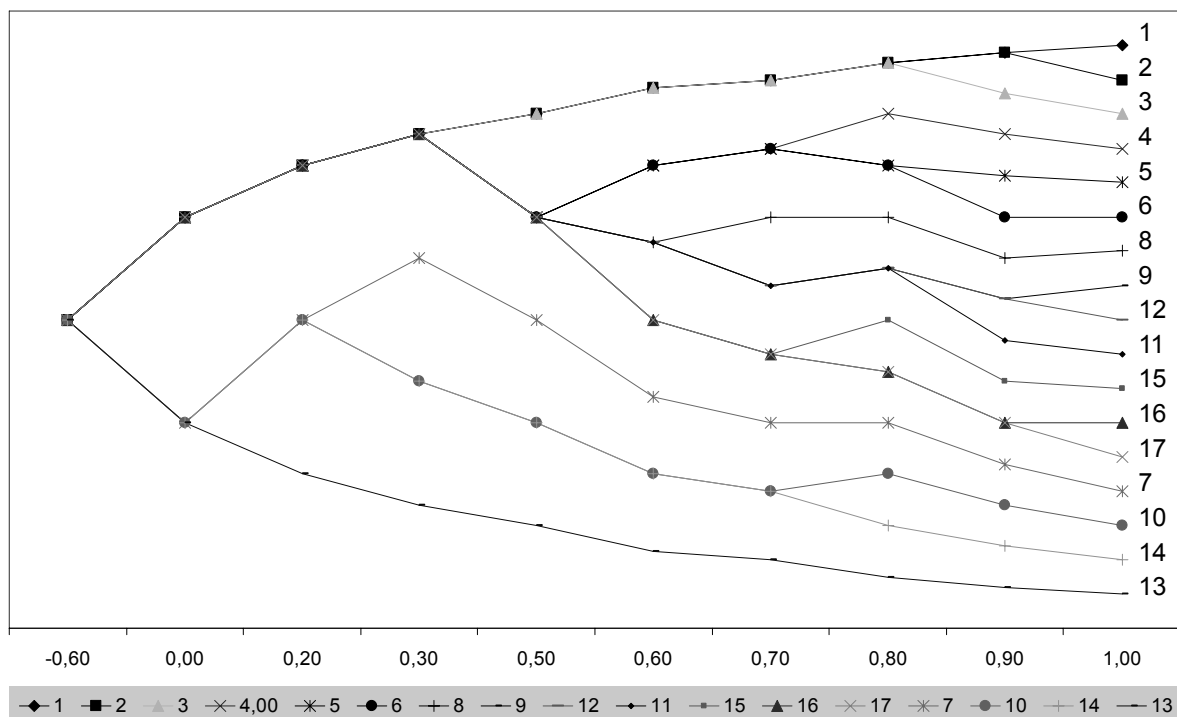
зовая, р. Юрюзань – Екатериновка. Так как связь внутри кластера составляет $P>99,9$ %, их можно группировать в подрайон Предуралья.

Таблица 2. Расчетная дендрограмма зимнего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.

№	Уровень кластеризации	Критерии J_1-J_2	Качество кластеризации D_j	Кластеры
0	1,00	-0,387	-1,000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
1	0,90	-0,037	-0,052	1-2 3 4 5 6 7 8 9-12 10 11 13 14 15 16-17
2	0,80	0,162	0,185	1-2-3 4 5-6 7 8 9-12-11 10 13 14 15 16-17
3	0,70	0,342	0,334	1-2-3 4 5-6 7 8 9-12-11 10-14 13 15-16-17
4	0,60	0,393	0,374	1-2-3 4 5-6 7 8 9-12-11 10-14 13 15-16-17
5	0,50	0,447	0,520	1-2-3 4 5-6 8 9-12-11-15-16-17 7 10-14 13
7	0,30	0,546	0,889	1-2-3 4 5-6 8 9-12-11-15-16-17 7 10-14 13
8	0,20	0,543	0,915	1-2-3 4 5-6 8 9-12-11-15-16-17 7 10-14 13
10	0,00	0,526	0,919	1-2-3 4 5-6 8 9-12-11-15-16-17 7 10-14 13
16	-0,60	0,387	1,000	1-2-3 4 5-6 8 9-12-11-15-16-17 7 10-14 13

Второй кластер формируется на $R=0,7$ уровне ($P>99,9$ %) и представлен постами на реках: р. Уфа – Нязепетровск, р. Ай – Златоуст, р. Ай – Веселовка. Связность объектов первого и второго кластеров более 99,9 %, что определяет их синхронность и группирует реки в отдельный гидрологический район.

Третий кластер $R=0,8$ состоит из двух подкластеров. Первый является одиночным (р. Уй –



№ постов на реках соответствуют табл. 1

Рис. 1. Дендрограмма синхронности колебаний зимнего стока рек Челябинской области за 1968–2003 гг.

Степное). Второй подкластер объединяет посты на реках: р. Уй – Плодопитомник, р. Увелька – Карсинский, р. Увелька – Красносельское. Так как уровень связности между объектами первого и второго подкластеров превышает 99,9 %, то все объекты третьего кластера можно объединить в один район.

Четвертый кластер группируется на уровне $R=0,7$ ($P>99,9$ %) и представлен реками южного Зауралья (р. Урал – Верхнеуральск, р. Урал – Кизильское, р. Гумбейка – Наваринский).

Пятый кластер является одиночным (р. Миасс – Костыли), его связь с другими кластерами происходит на низких уровнях $R=0,0$; $R=0,2$, что позволяет обособить объект в гидрологический подрайон.

Шестой кластер $R=0,7$ объединяет реки лесостепной зоны Зауралья (Синара – В. Ключевское, р. Теча – Муслумово). Связность между объектами составляет $P>99,9$ %, поэтому их можно объединить.

Последний, седьмой кластер одиночный (р. Карталы-аят – Карталы), его объединение с другими кластерами происходит на уровне $R=0,0$; $R=-0,6$, что свидетельствует об асинхронности многолетних колебаний зимнего стока р. Карталы-аят – Карталы по отношению к другим рекам области. Это позволяет обособить объект в подрайон степного Зауралья.

В результате анализа дендрограмм, внутрирайонных коэффициентов корреляции Спирмена и вероятностей внутри- и межкластерных связей с учетом природной зональности [16] установлено существование гидрологических районов с синхронными многолетними колебаниями зимнего стока рек и выполнено районирование территории Челябинской области. Для проверки обоснованности выделенных гидрологических районов использовался метод повторной выборки, который подтвердил существование выделенных районов. В результате анализа установлено три района и четыре подрайона с синхронными многолетними колебаниями зимнего стока рек. Положение границ районов представлено на рис. 2. Краткая их характеристика приводится в табл. 3.

Предуральский горно-лесной район и Западный горно-лесной подрайон расположены в северо-западной, наиболее высокой (300...500 м над уровнем моря) части Челябинской области. Для рек характерны высокие величины стока (3...4 л/(с·км²)), которые увеличиваются в юго-восточном направлении с повышением горного рельефа. Основные реки: Уфа, Ай, Юрюзань, Сим.

Зауральский лесостепной район, Центральный лесостепной и Северный лесостепной подрайоны занимают центральную и северо-восточную часть

области. Главные реки: Уй, Миасс, Синара. Величины зимнего стока составляют 1...2 л/(с·км²).

Таблица 3. «Характеристика гидрологических районов Челябинской области за зимний период»

№	Гидрологические районы	Природная зона	Основные реки
I	Предуральский горно-лесной район	Горно-лесная	Ай, Тюлюк, Уфа, Куса
Ia	Западный горно-лесной подрайон	Горно-лесная	Сим, Катав, Юрюзань
II	Зауральский лесостепной район	Лесостепная	Уй, Увелька
IIa	Центральный лесостепной подрайон	Лесостепная	Миасс
IIб	Северный лесостепной подрайон	Лесостепная	Синара, Теча
III	Южный степной район	Степная	Урал, Гумбейка, Б.Караганка
IIIa	Юго-восточный степной подрайон	Степная	Карталы-аят

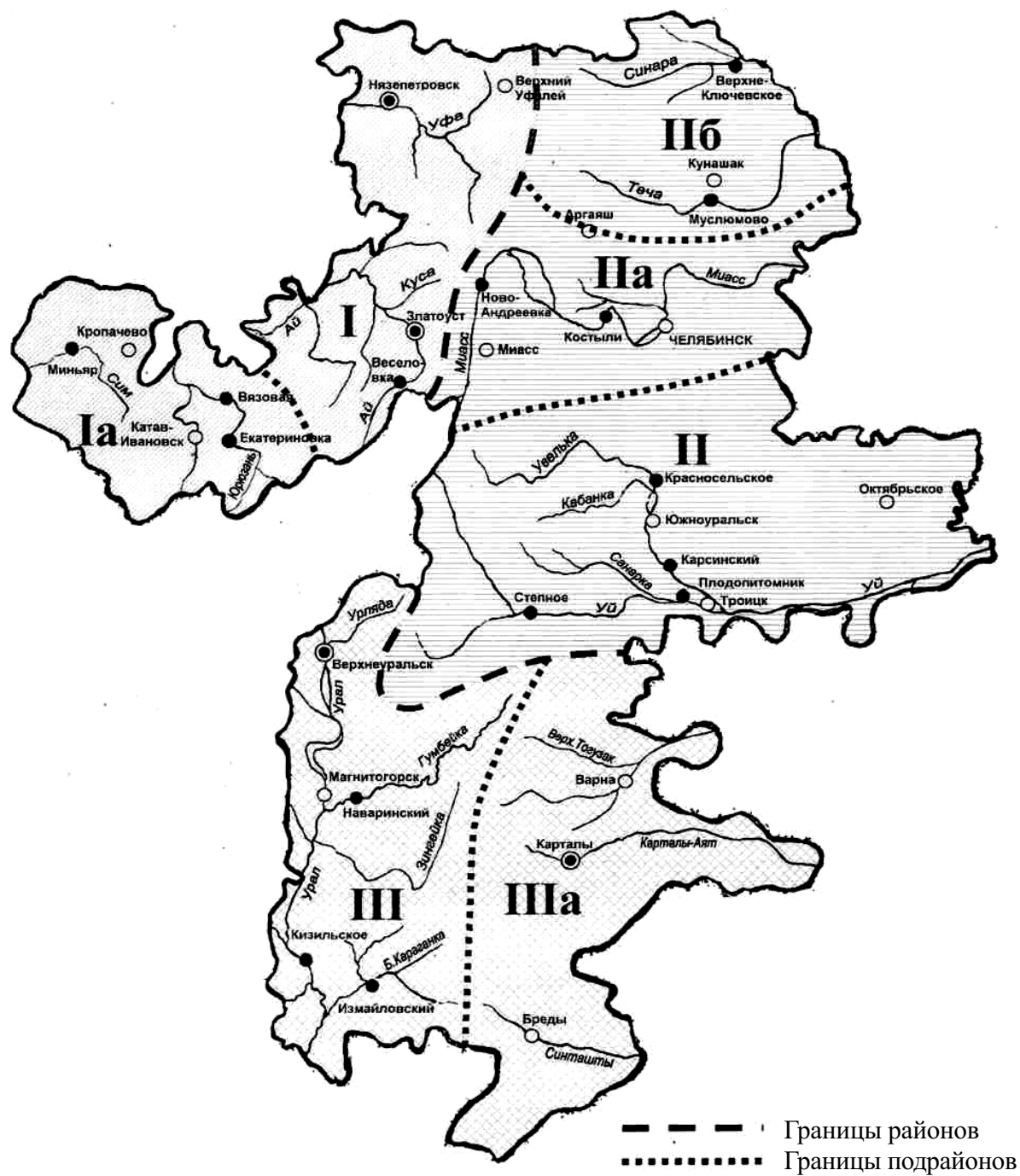
Южный степной район и Юго-восточный степной подрайон расположены в южной части области и включает верховья рек Урала и Тобола. Протекающие реки (Б. Караганка, Карталы-аят) отличаются неустойчивым водным режимом и незначительными величинами зимнего стока (0,01...1 л/(с·км²)).

Полученная схема гидрологического районирования при сопоставлении с районированием по признаку синхронности [3, 4, 8, 17] показала, что положение границ районов им не противоречит, а дополняет их. Рассматриваемая схема уточняет границы между Южным степным районом, Зауральским лесостепным районом и Юго-восточным степным подрайоном, так как в зимний период происходит смещение границ гидрологических районов в южной части Челябинской области.

Предложенная схема может использоваться при:

- составлении кадастровых карт с целью экономической и кадастровой оценки территории на водосборной площади бассейнов;
- проведении расчетов многолетнего регулирования сезонного стока и выборе оптимальных параметров гидроузлов при проектировании гидротехнических сооружений;
- проектировании водохранилищ, что позволяет уменьшить затраты при строительстве;
- размещении хозяйственных объектов.

В последние десятилетия антропогенная нагрузка на гидрологические объекты Челябинской области увеличилась в связи с недостаточностью водных ресурсов. Поэтому проведение научных исследований рек и прилегающих к ним территории, с целью рационального природопользования представляет собой одну из важных задач современной науки.



- I Предуральский горно-лесной район:
 - Ia Западный горно-лесной подрайон;
- II Зауральский лесостепной район:
 - IIa Центральный лесостепной подрайон,
 - IIb Северный лесостепной подрайон;
- III Южный степной район:
 - IIIa Юго-восточный степной подрайон

Рис. 2. Гидрологические районы по синхронным многолетним колебаниям зимнего стока рек на территории Челябинской области за период 1968–2003 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 288 с.
- Быков В.Д. Сток рек Урала. — М.: МГУ, 1963. — 143 с.
- Шкляев А.С. Опыт районирования территории Среднего и Южного Урала по преобладающему влиянию форм атмосферной циркуляции на сток / Сб. работ Свердловской гидрометеорологической обсерватории. — Свердловск, 1965. — Вып. 4. — С. 40–53.
- Орлова К.Е. Влияние атмосферной циркуляции на формирование годового стока в лесной, лесостепной и степной зонах Зауралья: автореф. дис. ... к. геогр. н. — Пермь, 1968. — 22 с.
- Силаева Л.Ф. Районирование Урала по показателю внутригодовой неравномерности стока // Вестник МГУ. Серия географическая. — 1974. — № 5. — С. 97–99.
- Андреева М.А. Гидрологический режим рек Челябинской области / Гидрометеорологический режим Южного Урала. — Челябинск: ЧГПИ, 1983. — С. 3–16.
- Рассказова Н.С. Многолетние колебания стока р. Тобол: автореф. дис. ... к. геогр. н. — Пермь, 1992. — 15 с.
- Рассказова Н.С. Многолетние колебания стока рек и их связь с космо- и геофизическими факторами (на примере рек бассейнов Камы и Тобола). — Челябинск: ЮУрГУ, 2003. — 233 с.
- СП 33-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству // Определение основных расчетных гидрологических характеристик. — М.: Госстрой России, 2004. — 73 с.
- Андреев В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 319 с.
- Статистика / под ред. проф. М.Р. Ефимовой. — М.: ИНФРА-М, 2005. — 160 с.
- Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ. № 2000610197 от 21.03.2000 г. / Н.С. Рассказова. Российское агентство по патентам и товарным знакам. — М.: Роспатент, 2000.
- Румянцев В.А., Трапезников Ю.А., Хорбаладзе М.А. Межгодовая изменчивость уровней воды озер // Известия АН. Серия географическая. — 2000. — № 1. — С. 64–68.
- Дорофеюк А.А., Лумельский В.Я. Алгоритмы обучения распознавания образов: Оценка полученных классификаций. Выбор критерия классификации. — М.: Советское радио, 1973. — 196 с.
- Олдендерфер М.С., Блэншфилд Р.К. Методы проверки обоснованности решений / Факторный и дискриминантный и кластерный анализ / под ред. Дж.О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клека и др. — М.: Финансы и статистика, 1989. — С. 192–202.
- Бубин М.Н. Многолетние колебания сезонного стока рек Челябинской области: автореф. дис. ... к. геогр. н. — Пермь, 2007. — 24 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (1963–1970 гг. и весь период наблюдений). Средний Урал и Приуралье (Тобол) / под ред. Н.М. Алешинской. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — Вып. 2. — 288 с.

Поступила 14.12.2009 г.

УДК 556;551.4

РЕЧНОЙ СТОК И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДОСБОРОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

А.Н. Никитенков, Е.М. Дутова

Томский политехнический университет

E-mail: corestone@mail.ru

С использованием методов геоинформационных технологий получены морфометрические параметры водосборов рек северной части Кузнецкого Алатау. По данным многолетних гидрометрических наблюдений определены величины речного стока и его составляющих, особенности их внутригодовой изменчивости. Средствами корреляционного анализа оценена взаимосвязь морфометрических параметров водосборов и величин модулей стока.

Ключевые слова:

Поверхностный сток, подземный сток, гидрограф, морфометрические параметры водосборов, геоинформационные технологии, корреляционный анализ.

Key words:

Surface flow, underground flow, hydrograph, morphometric characteristics of river basins, geographic informational systems, correlation analysis.

В настоящее время характеристики стока широко используются при решении множества теоретических и прикладных задач, связанных с водно-экологическими проблемами и эксплуатацией недр [1–4]. Вопросам формирования стока, разработке методов его количественной оценки посвящены фундаментальные работы Б.И. Куделина, Ф.А. Макаренко, М.И. Львовича, Ф.П. Саварен-

ского, О.В. Попова, В.А. Всеволожского, И.С. Зекцера и других исследователей. Существующие методы оценки стока базируются на анализе гидрометрических данных, получение которых в натуральных условиях требует проведения трудоемких, дорогостоящих полевых работ и организации стационарных постов, что реально возможно только для крупных водосборных бассейнов. В этой связи для