



УДК 539.163:546.799:504.63.06

М.К. Мукушева

РГП «Национальный ядерный центр РК», г. Курчатов

С.И. Спиридонов, И.А. Гонтаренко

Всероссийский НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, г. Обнинск

**МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ^{90}Sr В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ «БАЛАПАН»**

На Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) в период с 1961 по 1989 год на технической площадке «Балапан» было осуществлено 131 подземное испытание в вертикальных горных проходках–скважинах. Здесь также был произведен впервые экскавационный взрыв с выбросом грунта для отработки методики создания искусственных водохранилищ в засушливых районах.

К настоящему времени накоплен значительный объем информации, характеризующей распределение радионуклидов по компонентам луговых экосистем на территории СИП, в частности, на территории технической площадки «Балапан» [1-3]. Наличие указанной информации позволяет разработать и параметризовать математические модели, предназначенные для прогнозирования переноса радионуклидов по компонентам пищевой цепи, в частности, почва - растительность.

Анализ пространственного распределения ^{90}Sr на территории технической площадки «Балапан» проводился на основе экспериментальных данных, полученных сотрудниками Национального ядерного центра Республики Казахстан в 1998-2004 гг. Эмпирические распределения логарифмов концентрации ^{90}Sr в почве на исследуемой территории не вполне соответствуют нормальному закону распределения вероятностей, что вполне объяснимо неоднородностью радиоактивного загрязнения площадки «Балапан».

Следует отметить, что наибольшая радиоактивно загрязненная территория в пределах площадки «Балапан» расположена в непосредственной близости от «Атомного озера». При проведении экскавационного взрыва в 1965 г. наряду с выбросом грунта сформировалось радиоактивное облако, обусловившее загрязнение местности. Как отмечено в работе [3], содержание ^{90}Sr в почве на расстоянии 1 км от гребня навала, окружающего «Атомное озеро», достигает 2400 Бк/кг. Характеристики распределения логарифмов концентраций ^{90}Sr в почве на территории, прилегающей к «Атомному озеру», представлены в таблице. Среднегеометрические содержания ^{90}Sr в почве на этой территории составляют 250т Бк/кг.

Характеристики распределения логарифмов концентраций ^{90}Sr в почве на территории, прилегающей к «Атомному озеру»

Радионуклид	Кол-во проб	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднеквадратичное отклонение
^{90}Sr	47	5,52	1,09	8,59	0,28

С целью выявления закономерностей распределения радионуклидов по почвенному профилю на территории площадки «Балапан» проведена статистическая обработка экспериментальной информации. Относительные содержания ^{90}Sr в почвенных слоях отражены на рис. 1.

Характер распределения ^{90}Sr отличается от характера распределения ^{137}Cs на исследуемой территории. В верхнем 0–5-сантиметровом почвенном горизонте сосредоточено большее количество ^{137}Cs по сравнению с количеством ^{90}Sr в этом слое. Эта закономерность подтверждается результатами исследований, проведенных на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС [4].

Поскольку значительная доля ^{90}Sr находится в обменной и водорастворимой формах в течение длительного времени после его поступления в почву [5,6], интенсивность миграции этого радионуклида по почвенному профилю превышает скорость миграции ^{137}Cs .

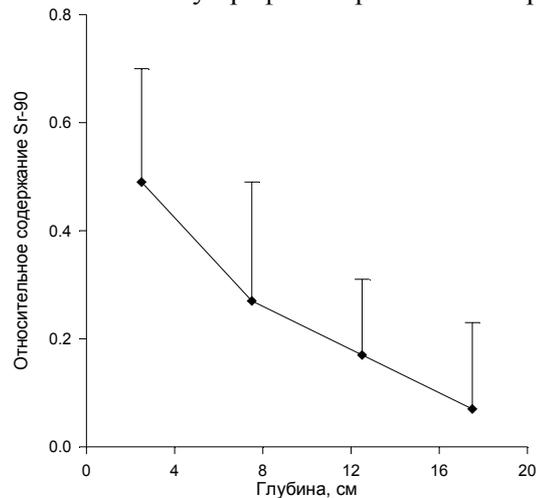


Рис. 1. Относительные содержания ^{90}Sr в слоях почвенного профиля

Содержание радионуклидов в почвенном растворе, определяющее их поступление в растительность, зависит от совокупности процессов, протекающих в почве. Интенсивность этих процессов, в свою очередь, зависит от характеристик радиоактивных выпадений и свойств почвы. Неоднородность почвенных свойств и особенности растительного покрова обуславливают неравномерное распределение коэффициентов перехода ^{90}Sr в растительность на исследуемой территории.

Эмпирические распределения коэффициентов перехода ^{90}Sr в растительность, оцененные на основе полученных данных, приблизительно подчиняются логнормальному закону распределения вероятностей. Наибольшее количество значений коэффициентов перехода располагается в диапазоне 0–0,02 (Бк/кг)/(кБк/м²). Высокие значения коэффициентов накопления (0,08 - 0,10 (Бк/кг)/(кБк/м²)) могут быть обусловлены свойствами природных объектов или погрешностью пробоподготовки и измерений.

На основе анализа информации, характеризующей радиозэкологическую обстановку на технической площадке «Балапан», установлено, что радиационно опасной зоной является территория, прилегающая к «Атомному озеру» [3]. Эта территория загрязнена радионуклидами в результате проведения в 1965 г. экскавационного ядерного взрыва. Характерная

особенность указанного ядерного испытания - выброс твердых грунтовых пород и распределение их по поверхности почвы в непосредственной близости от эпицентра взрыва [7].

Для описания поведения ^{90}Sr в почве на территории, прилегающей к «Атомному озеру», использована модель, разработанная для прогнозирования миграции этого радионуклида в каштановых почвах Семипалатинского испытательного полигона [8]. Модель адаптирована для условий указанной территории на основе информации, характеризующей радиационно-экологическую обстановку на площадке «Балапан». При разработке модели поведения было сделано предположение о том, что оплавленные частицы, в состав которых входят долгоживущие радионуклиды, содержатся в верхнем пятисантиметровом слое почвы. Модель описывает распределение ^{90}Sr по формам его нахождения в каждом почвенном слое (толщина слоев 5 см) и вертикальную миграцию этого радионуклида.

Поступающий в почву в растворимом виде ^{90}Sr практически мгновенно перераспределяется между водорастворимой и обменной формами [9]. После этого протекают процессы фиксации ^{90}Sr , обуславливающие переход этого радионуклида в необменные формы. Как показано в работе [8], фиксация ^{90}Sr в почве происходит в две стадии («быстрая» и «медленная»). Эти представления были использованы и при разработке модели поведения ^{90}Sr в почве на территории, прилегающей к «Атомному озеру». Поскольку в почве на указанной территории присутствуют частицы твердых грунтовых пород [7], в состав концептуальной схемы включен дополнительный компартмент « ^{90}Sr в частицах грунтовых пород».

Основные допущения, использованные при разработке моделей, можно сформулировать следующим образом:

- оплавленные частицы, сформировавшиеся в результате ядерного взрыва, являются долговременным источником поступления ^{90}Sr в почвенный раствор;
- динамика распределения ^{90}Sr в каждом слое почвы определяется процессами ионного обмена, фиксации на почвенных частицах и частицах твердых грунтовых пород, а также вертикальной миграцией этого радионуклида;
- фиксация ^{90}Sr на почвенных частицах происходит в две стадии («быстрая» и «медленная»).

Содержание ^{90}Sr в компонентах почвы характеризуется набором переменных Q_{Sr} , имеющих размерность $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}$. Для описания процессов поведения ^{90}Sr в почве использована система дифференциальных уравнений, описанная в работе [8].

Математические модели, описывающие поведение ^{90}Sr в системе почва-растительность на территории, прилегающей к «Атомному озеру» реализованы на ЭВМ с использованием численных методов в среде Mathcad 11 Enterprise Edition. Программные версии моделей включают модули: «Миграция ^{90}Sr в почве», «Накопление ^{90}Sr в растительности».

Исходными данными для проведения расчетов являются:

- дата радиоактивных выпадений;
- период времени, на который осуществляется прогноз;
- исходные плотности загрязнения почвенного покрова ^{90}Sr ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}$).

Выходные данные модели представляют собой совокупность баз данных:

- матрица, включающая результаты расчета содержания ^{90}Sr в каждом из компонентов почвы в течение периода прогноза ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}$);

- матрица, включающая результаты расчета содержания ^{90}Sr в растительности в течение периода прогноза (Бк кг^{-1}).

Сформированные в результате работы программной версии модели базы данных могут быть экспортированы в среду Microsoft Excel, графический редактор GRAPHER и другие программные приложения для дальнейшего анализа и графического представления.

Процедура определения параметров моделей поведения ^{90}Sr в системе почва - растительность описана в работе [10]. Для определения констант скоростей процесса быстрой фиксации почвенными частицами использовались экспериментальные данные, описывающие содержание ^{90}Sr в обменной форме (каштановые почвы) в условиях квазиравновесия [5]. Оценка интенсивности фиксации ^{90}Sr частицами твердых грунтовых пород осуществлялась с использованием экспериментальной информации, представленной в работе [7]. Для моделирования условий экспериментов проведены расчеты на основе модели, описывающей поведение ^{90}Sr в почве после его поступления в водорастворимой форме. При идентификации параметров медленной фиксации проводились расчеты на длительный период времени с использованием данных, приведенных в работе [11]. Значения констант вертикальной миграции ^{90}Sr по профилю почвы оценивались на основе анализа данных, характеризующих распределение этого радионуклида в почве на территории, площадки «Балапан» СИПа.

Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными показало, что модель адекватно описывает распределение ^{90}Sr по почвенным профилям на территории площадки «Балапан».

С помощью разработанных моделей осуществлены ретроспективные и прогностические расчеты динамики содержания ^{90}Sr в компонентах почвы на территории, прилегающей к «Атомному озеру». Значение плотности выпадения ^{90}Sr в 1965 г. – 113 кБк/м^2 . При таком начальном условии содержание ^{90}Sr в корнеобитаемом слое почвы на исследуемой территории в настоящее время достигает среднего значения – 250 Бк/кг .

Результаты расчетов динамики содержания ^{90}Sr в различных формах его нахождения в слое почвы 0-5 см приведены на рис. 2. Долговременным источником поступления ^{90}Sr в почвенный раствор являются оплавленные частицы, сформировавшиеся в результате ядерного взрыва.

Изменение содержания ^{90}Sr в почвенном растворе обусловлено совокупностью процессов, включающей радиоактивный распад ^{90}Sr , обменную сорбцию этого радионуклида, «быструю» и «медленную» фиксацию ^{90}Sr в почве, фиксацию ^{90}Sr на частицах грунтовых пород, вертикальную миграцию ^{90}Sr по почвенному профилю.

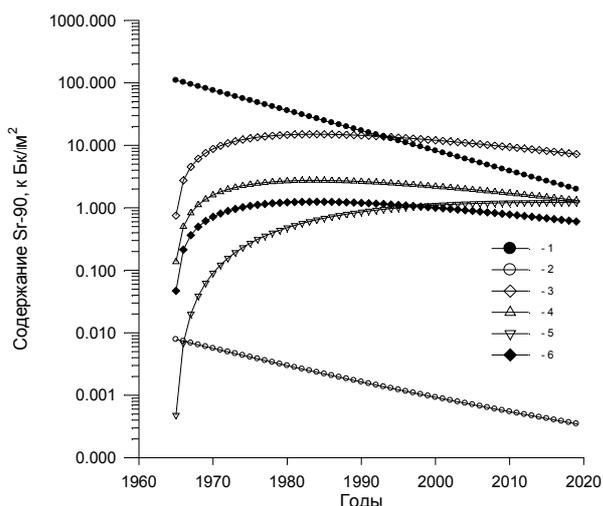


Рис. 2. Динамика содержания ^{90}Sr в различных формах его нахождения в слое почвы 0-5 см: 1 - оплавленные частицы, 2 – почвенный раствор, 3 - обменная форма, 4 – фиксированная форма («быстрая» фиксация в почве), 5 - фиксированная форма («медленная» фиксация в почве), 6 - фиксированная форма (грунтовые породы)

Специфическая особенность территории, прилегающей к «Атомному озеру» на площадке «Балапан», - присутствие в почве частиц твердых грунтовых пород. Эти частицы выпали на почвенный покров в результате экскавационного ядерного взрыва. В состав геологических пород входят: туф, туфопесчаник, песчаник, туфоалеврит, гранит, порфирит и аргиллит.

При параметризации модели сделано допущение о том, что грунтовые породы равномерно распределены в верхнем почвенном слое. Соотношение между количеством ^{90}Sr , фиксируемого почвенными частицами, и количеством этого радионуклида, сорбируемого грунтовыми породами, соответствует отношению коэффициентов распределения ^{90}Sr (K_d) в системах «твердая фаза почвы – почвенный раствор» и «грунтовые породы – почвенный раствор». Значения K_d для каштановых почв составляют 17-44 $\text{см}^3/\text{г}$ [6]. Значения коэффициентов распределения ^{90}Sr между грунтовыми породами и почвенным раствором распределяются в диапазоне 15-220 $\text{см}^3/\text{г}$ [7]. При этом для большинства грунтовых пород (за исключением аргиллита и туфопесчаника) значение этого показателя составляет 15-20 $\text{см}^3/\text{г}$.

Поскольку данные о долговременной («медленной») сорбции ^{90}Sr грунтовыми породами отсутствуют, этот процесс не учитывался при разработке модели.

Математическая модель, описывающая поведение ^{90}Sr в луговых экосистемах СИП, адаптирована для условий технической площадки «Балапан». Модели параметризованы на основе экспериментальной информации, характеризующей особенности луговых экосистем на этой площадке. Проведены прогностические и ретроспективные расчеты, результаты которых позволили установить закономерности динамики ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе почва – растительность на территории, прилегающей к «Атомному озеру». Эта территория представляет собой наиболее крупный, с точки зрения масштабов радиоактивного загрязнения, участок технической площадки «Балапан».

Представленную модель можно рассматривать как инструмент, позволяющий прогно-

зировать распределение ^{90}Sr в почве на участках исследуемой территории, различающихся по своим характеристикам.

Для устранения неопределенности, возникающей при определении параметров модели, отражающих характеристики геологических пород, целесообразно провести экспериментальные работы по уточнению следующих показателей:

- количественный состав различных грунтовых пород в почвенных горизонтах на территории, прилегающей к «Атомному озеру»;
- распределение грунтовых пород по исследуемой территории; интенсивность долговременной фиксации ^{90}Sr грунтовыми породами.

Список литературы

1. Птицкая Л.Л. Современное состояние радиационной обстановки на территории испытательной площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского полигона // Вестник НЯЦ РК. «Радиоэкология. Охрана окружающей среды». -2002. -Вып. 3. -С. 7-13.
2. Семиошкина Н.А. Оценка радиологических последствий радиоактивного загрязнения территории Семипалатинского испытательного полигона: Дис... канд.биол. наук. -Обнинск, 2002.
3. Semiochkina N., Voigt G., Mukusheva M. et al. Assessment of the current internal dose due to ^{137}Cs and ^{90}Sr for people living within the Semipalatinsk test site, Kazakhstan. // Health Physics. 2004. V. 86. № 2. P. 187-192.
4. Shestopalov V.M., Kashparov V.A., Ivanov Y.A. Radionuclide Migration into the Geological Environment and Biota after the Chernobyl Accident. Environmental Science and Pollution Research, 2003, No 1, pp. 39-47.
5. Сысоева А.А. Экспериментальное исследование и моделирование процессов, определяющих подвижность ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе почва-растение: Автореф. дис. ... канд.биол. наук. -Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2004.
6. Котова А.Ю. Исследование механизмов сорбции и биологической доступности ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{137}Cs и ^{144}Ce в почвах различных типов: Дис. ... канд. биол. наук. -Обнинск:ВНИИСХРАЭ, 1998. -209 с.
7. Плотников В.И. Сорбция стронция и цезия породами с площадки Балапан /В.И. Плотников, Т.И. Аксенова, А.К. Бердаулетов/ Вестник НЯЦ РК. «Радиоэкология. Охрана окружающей среды». -2001. -Вып. 3. -С. 1-6.
8. Спиридонов С.И. Моделирование поведения ^{137}Cs и ^{90}Sr в системе почва-растения на территории, прилегающей к технической площадке «Опытное поле» СИП / С.И. Спиридонов, М.К. Мукушева, И.А. Гонтаренко // Труды II Международной научно-практической конференции «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения». - Курчатов. - С. 57-64.
9. Орлов Д.С. Химия почв. - М.: Издательство МГУ, 1985. -376 с.
10. Fesenko S.V., Spiridonov S.I., Mukusheva M.K., Gontarenko I.A.Panov A.V. Model development and assessment of parameters of radionuclide transfer by foodchain within territory close to the technical site «Experimental field» // Proceedings of the 1st International Nuclear Chemistry Congress, Kusadasi, Turkey, May, 2005, P. 343
11. Булгаков А.А. Моделирование долговременной трансформации форм нахождения ^{90}Sr в почвах. Почвоведение /А.А. Булгаков, А.В. Коноплев. -2004 (в печати.).

Получено 05.05.06.

УДК 556: 502/504

С.Б. Сайров

ВКГУ им.С.Аманжолова

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЯДОВ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК КАЗАХСТАНСКОГО АЛТАЯ

Минимальный сток – одна из важнейших гидрологических характеристик, учитывае-

мых при водохозяйственных мероприятиях и в конкретных проектах. Минимальный сток лимитирует использование водных ресурсов, особенно при их дефиците. Вообще, маловодье сейчас относят к опасным гидрологическим явлениям, создающим, наряду с наводнениями, экстремальные (опасные) гидрологические ситуации (ЭГС).

Как известно, до сих пор Восточный Казахстан был единственным районом республики в целом (не считая отдельных объектов), не испытывающим недостатка в воде даже в маловодные годы. Но, возможно, этому полному водному благополучию приходит «конец» в связи: с забором воды с начала наступившего тысячелетия в канал Каратай в КНР (забор неизбежно будет увеличиваться); неблагоприятной фазой климата; возможным увеличением заборов воды в Казахстане, в частности в канал Ертыс-Караганда.

Кроме того, Восточный Казахстан – неблагоприятный в экологическом отношении район, особенно в части состояния поверхностных вод. Загрязненные сбросы надо разбавлять достаточным количеством чистой природной воды, которой для этого не хватает даже в богатом водными ресурсами бассейне верхнего Ертыса. И опять-таки самым напряженным в этом плане оказывается меженный период – период с низким стоком [1].

В Республике Казахстан минимальный сток рек пока изучен слабо, а такие важные показатели многолетних колебаний, как однородность, стационарность и автокорреляция вообще не рассматривались.

Поэтому в ходе выполнения данной работы была поставлена задача исследования статистической структуры временных рядов минимального стока основных рек Казахстанского Алтая с определением генетической и статистической однородности исходной информации и выявления степени воздействия хозяйственной деятельности, принципы и методы [2-3]. В ходе исследования были использованы опубликованные ежегодные данные государственного водного кадастра РК. Способы восстановления пропусков временных рядов приведены в работе [1].

Исследование статистической структуры временных рядов (табл. 1) минимального летне-осеннего и зимнего среднемесячных стоков в замыкающих створах основных притоков Ертыса продолжительностью от 49 до 73 лет показало, что для зимних минимальных стоков существуют повышенная внутрирядная связанность коэффициента автокорреляции $r(1)$ от 0,23 до 0,56. Повышенная внутрирядная связанность минимального стока летне-осеннего периода отмечается по рекам Бухтарма – с.Лесная Пристань и Нарым – с. Большенарымское $r(1)$ 0,26 и 0,47 соответственно. Для остальных рек внутрирядная связанность минимального стока летне-осеннего периода несущественна. Несмещенные значения первого коэффициента автокорреляции минимального стока для основных притоков р.Ертыс и самой реки Ертыс в створе Буран показано в табл. 1.

Далее, эти же ряды были подвергнуты анализу случайности и независимости с помощью критериев максимальной длины и числа серий. Результаты анализа также отражены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты автокорреляции $r(1)$ минимального стока, фактические R и ожидаемые MR числа серий маловодных и многоводных лет

№	Пункт наблюдений	Период наблюдений, гг.	Сезон	$r(1)$	R	MR
1	Иртыш – с.Буран	1938-2003	зима	0,39	22	33,51
			летне-осенний	0,05	30	32,30
2	Уба – г. Шемонаиха	1955-2003	зима	0,51	17	25,40
			летне-осенний	0,14	19	25,34

3	Ульба –с.Ульба-Перевалочная	1931-2003	зима	0,24	27	36,35
			летне-осенний	0,11	33	36,84
4	Бухтарма – с.Лесная Пристань	1955-2003	зима	0,56	20	25,39
			летне-осенний	0,26	21	25,13
5	Нарым – с.Большое Нарымское	1955-2003	зима	0,43	12	25,21
			летне-осенний	0,47	17	25,25
6	Курчум –с.Вознесенское	1948-2003	зима	0,17	22	28,31
			летне-осенний	0,14	21	27,04
7	Калжыр – с.Черняевка	1937-2003	зима	0,23	12	25,21
			летне-осенний	0,16	17	25,25

По р. *Черный Ертыс – с. Буран* наиболее длительной являются серия маловодных лет и по зимнему и по летне-осеннему минимальному стоку – 9...11 и 5...6 лет соответственно.

По р. *Уба – г. Шемонаиха* самые длительные многоводные серии и по зимнему и по летне-осеннему минимальному стоку 11 лет.

По р. *Ульба – ст. Ульба-Перевалочная* наблюдаются и маловодные и многоводные длинные серии и по зимнему и по летне-осеннему минимальному стоку – от 6 до 8 лет.

По р. *Бухтарма – с. Лесная Пристань* одинаково наблюдаются длинные серии и многоводных и маловодных лет по зимнему минимальному стоку 9 и 10 лет соответственно. По летне-осеннему минимальному стоку наблюдаются примерно одинаковые 4–6-летние серии и маловодных и многоводных лет.

По р. *Кальджир – с. Кальджир* самые длительные серии: одна 6-летняя серия многоводных лет по зимнему минимальному и две 6-летних серии по летне-осеннему минимальному стоку.

По р. *Курчум – с. Вознесенское* по зимнему минимальному стоку самая длинная 11-летняя многоводная серия и 8-летняя маловодная серия по летне-осеннему минимальному стоку.

По р. *Нарым – с. Большенармское* по зимнему минимальному стоку самые длинные 8-летняя маловодная серия и 7-летняя многоводная серия. По летне-осеннему минимальному стоку наблюдаются 6-летние многоводная и маловодная серии.

Как видно из табл. 1 фактические числа серий R маловодных и многоводных лет всегда больше ожидаемых чисел серии MR. Значит, ряды отличны от случайных последовательностей, есть тенденция к группировкам многоводных и маловодных лет. Поэтому гипотеза случайности и независимости временных рядов отвергается. Это может быть связано с зарегулированностью стока за счет питания рек подземными водами.

Анализ генетической и статистической однородности, а также стационарности исходной информации выполнен с помощью ряда методов. Использование интегральных критериев вида

$$\sum y=f(t) \quad (1)$$

не позволило выявить изменений в рядах минимального стока под влиянием хозяйственной деятельности.

Кроме того, для анализа однородности и стационарности использован критерий Стьюдента и Фишера (табл. 2). Так как в графиках вида (1) всех временных рядов нет явных переломных моментов, при применении критериев все ряды были разделены на две равные части.

Таблица 2. Результаты анализа на однородность и стационарность по критериям Стьюдента (t) и Фишера (F)

№	Пункты	Периоды	Ме- жень	F	t	F _{5%}		T _{5%}	
						n _x	n _y	n _x	n _y
1	Иртыш – с.Буран	1938-1970, n _x =33	Зима	1,14	0,06	2,34	2,34	2,95	2,95
		1971-2003, n _y =33	Л-О	1,77	0,33	1,95	1,95	2,09	2,09
2	Уба-г.Шемонаиха	1955-1979, n _x =25	Зима	1,91	0,24	2,73	2,92	3,47	3,48
		1980-2003, n _y =24	Л-О	2,23	0,24	2,31	2,44	2,29	2,29
3	Ульба-с.Ульба- Перевалочная	1931-1967, n _x =37	Зима	1,31	0,00	2,10	2,05	2,49	2,49
		1968-2003, n _y =36	Л-О	2,36	0,35	2,05	2,07	2,18	2,18
4	Бухтарма-Лесная Пристань	1955-1979, n _x =25	Зима	1,21	0,24	2,73	2,89	3,47	3,48
		1980-2003, n _y =24	Л-О	2,54	0,24	2,38	2,52	2,58	2,64
5	Нарым- с.Большенарым	1955-1979, n _x =25	Зима	1,84	0,54	2,73	2,92	3,33	3,02
		1980-2003, n _y =24	Л-О	2,05	0,24	2,64	2,80	3,16	3,48
6	Курчум– с.Вознесенское	1948-1975, n _x =28	Зима	1,80	0,54	2,27	2,27	2,42	2,41
		1976-2003, n _y =28	Л-О	1,15	0,23	2,23	2,23	2,29	2,20
7	Калжыр-с.Черняевка	1937-1970, n _x =34	Зима	1,04	0,03	2,16	2,16	2,40	2,40
		1971-2003, n _y =33	Л-О	1,84	0,01	2,16	2,16	2,40	2,40

Как показал анализ использованных критериев Стьюдента и Фишера, обобщенных на случай внутрирядной связанности, почти все ряды зимнего и летне-осеннего минимального стока, кроме летне-осенних минимальных стоков Ульба – Ульба-Перевалочная и Бухтарма – Лесная Пристань, отвечают условию стационарности и однородности при 5%-ном уровне значимости. Причина нестационарности летне-осенних минимальных стоков рр.Ульба – Ульба-Перевалочная и Бухтарма – Лесная Пристань может быть объяснено влиянием хозяйственной деятельности на водосборе и в русле реки.

В соответствии с этим в дальнейшем был применен генетический анализ существенности наметившихся тенденций – изменения минимального стока рр.Ульба – Ульба-Перевалочная и Бухтарма – Лесная Пристань [4]. Он состоит в сопоставлении средней квадратической погрешности выборки (σ_y), относящейся к естественному режиму рассматриваемого ряда и относительной величины изменения значений (E_y), рассчитываемых по выражению:

$$(\sigma_y) = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где C_v – коэффициент вариации;
n – объем наблюдений.

Относительное изменение минимального стока определяется по формуле

$$E_y = \frac{\Delta y}{y_1 \cdot K_B} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где K_B – коэффициент водности;
 Δy - изменение минимального стока.

$$K_E = \frac{Y_{2a}}{Y_{1a}}, \quad (4)$$

где Y_{2a} и Y_{1a} – величины минимального стока объекта – аналога соответственно по нарушенному и ненарушенному режимам расчетного водосбора.

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 \cdot K_E, \quad (5)$$

где Y_1 и Y_2 – показатели минимального стока расчетного водосбора до и после изменения. Соотношения $\sigma_y > E_y$ или $\sigma_y < E_y$ соответственно указывают на отсутствие или наличие нарушения однородности ряда. Расчетные характеристики σ_y и E_y представлены в табл. 3.

Таблица 3. Относительное (E_y) и абсолютное изменение минимального летне-осеннего стока рек Ульба и Бухтарма

Река - створ	Площадь водосбора F, км ²	Среднеквадратическая ошибка, σ_y	Относит. изменение стока E_y , %	Абсолют. изменение стока, л/с*км ²	Река-аналог
Ульба-с.Ульба-Перевалочная	4900	10,0	26,0	-1,92	Кальджир-с.Кальджир
Бухтарма-с. Лесная Пристань	10700	9,00	13,0	-1,50	Бухтарма-с.Печи

Как видно из табл.3 по рр.Ульба (ст.Ульба-Перевалочная), Бухтарма (с.Лесная Пристань) относительное изменение минимального стока летне-осеннего периода (E_y) составило 26,0 и 13,0 соответственно, и превышает среднеквадратическую ошибку (σ_y), что показывает изменение минимального летне-осеннего стока. Изменения произошли в сторону уменьшения.

Полученные количественные характеристики этих изменений должны быть уточнены в дальнейших исследованиях, и учтены при выполнении гидрологических, водохозяйственных расчетов, а также при решении природоохранных задач.

Список литературы

1. Гальперин Р.И. Минимальный сток основных рек Казахстанского Алтая /Р.И. Гальперин, С.Б. Сайров/ Вестник КазНУ, серия географическая. – Алматы, 2005. – №2. – С.207–215.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.–Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
3. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии.– Л.: Гидрометеиздат, 1991.– 238 с.
4. Гареев А.М. Географо-экологические основы комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна реки. – Челябинск, 1989. – 70 с.

Получено 06.06.06.