

3. Кисленко, Г.С. Мелкие млекопитающие в природных очагах клещевого энцефалита Средней Сибири. Сообщение 1. Величина иммунной прослойки к возбудителю инфекции среди насекомых и грызунов / Г.С. Кисленко, Ю.С. Коротков, С.П. Чунихин // Мед. паразитология и паразитарные болезни. – 1994. – № 4. – С. 45–46.
4. Кучерук, В.В. Количественный учет важнейших видов грызунов и землероек / В.В. Кучерук // Методы учета численности и географического распределения наземных позвоночных. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1952. – С. 9–46.
5. Кучерук, В.В. Количественный учет важнейших теплокровных носителей болезней / В.В. Кучерук, Э.И. Коренберг // Методы изучения природных очагов болезней человека. – М.: Медицина, 1964. – С. 129–153.
6. Малькова, М.Г. Сравнительный анализ видового состава Micromammalia в учетных отловах и погาดках / М.Г. Малькова, В.В. Якименко // Териофауна России и сопредельных территорий: мат-лы междунар. совещания (6–7 февраля 2003 г., Москва). – М., 2003. – С. 209.
7. Наумов, Р.Л. Прогноз численности / Р.Л. Наумов // Таежный клещ Ixodes persulcatus P. Sch. (Acarina, Yxodidae): Морфология, систематика, экология, медицинское значение. – Л.: Наука, 1985. – С. 329–333.
8. Никифоров, Л.П. Природные условия Красноярского края / Л.П. Никифоров // Вопросы эпидемиологии клещевого энцефалита и биологические закономерности в его природном очаге. – М., 1968. – С. 15–37.



УДК 556.18+551.4

И.В. Бабкина

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ЗОНЕ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Функционирование, развитие сельскохозяйственного производства и всей сопутствующей ему инфраструктуры непосредственным образом связано с водообеспечением, реализуемым за счет водных ресурсов той или иной территории. Сельскохозяйственная отрасль в наибольшей степени использует местный сток, т.е. водные ресурсы малых водотоков (рек, ручьев), составляющих начальные звенья гидрографической сети и являющихся элементами природных ландшафтов. Данная категория водотоков требует решения взаимосвязанных проблем использования водных ресурсов и их сохранения как природных объектов.

Формирование водных ресурсов малых водотоков обусловлено непосредственным и опосредованным влиянием природных факторов, присущих территории в целом, и ландшафтными особенностями конкретных водосборных бассейнов, в частности. Такая генетическая предопределенность обуславливает достаточно быструю и существенную реакцию малых водотоков на состояние природной среды, особенно проявляющуюся при сельскохозяйственном освоении территории. Например, изменение стока малых рек, вызванное забором воды на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение, отмечалось в некоторых земледельческих районах Красноярского края, Хакасии, Тывы [1–2]. Одной из основных причин отказа в работе оросительных систем в рассматриваемом регионе является недостаточность ресурсов водоисточников (Санников В.П., 1993) недооцененных существующими методами. Это требует разработки более совершенных способов расчета местного стока, отвечающих условиям его формирования на данной территории.

Для решения вопросов экологически обоснованного (безопасного для водного объекта) водообеспечения необходима хорошая изученность водного режима малых рек и водотоков начальных порядков. В реальности же это наименее изученная категория водных объектов на рассматриваемой территории.

Местный сток рассматриваемого района представлен водными ресурсами более чем 54 тысяч малых рек и водотоков [1; 3]. Доля водотоков длиной менее 10 км составляет около 92%. Доли количества водотоков, принадлежащих к бассейнам крупных рек территории, составляют соответственно 63% (бассейн Енисея), 9% (бассейн Чулыма) и 28% (бассейн Ангары). Степень их освещенности гидрологическими наблюдениями крайне низка (< 1%). Водотоки с площадью водосборов до 20–50 км² практически не изучены. Это

предопределило необходимость изучения особенностей формирования поверхностного стока с малых водосборов площадью до 20–50 км², представляющих начальные элементы естественных и преобразованных ландшафтов.

При использовании местного стока в сельскохозяйственной зоне Средней Сибири возникают сложные водно-экологические проблемы, решение которых затруднено вследствие:

- недостаточной гидрологической изученности;
- отсутствия достоверных способов расчета естественной водности малых водотоков;
- отсутствия обоснованных водноресурсных критериев охраны источников от истощения, позволяющих установить природоохранную водность конкретного водотока.

Таблица 1

Количество водотоков, формирующих местный сток

Бассейн реки	Водотоки длиной, км		Общее число водотоков	%
	менее 10	менее 100		
Енисей (до впадения Ангара)	31854	2445	34299	63
Нижняя Ангара (в пределах Красноярского края)	14154	1357	15511	28
Верхний Чулым (в пределах Хакасии и Красноярского края)	4490	384	4874	9
Итого	50498	4186	54684	100

В определенной степени перечисленные проблемы решены для территории южной части Красноярского края (южнее 58° с.ш.), Хакасии, Тывы, что по физико-географическому районированию относится к Средне-Сибирской таежно-плоскогорной и Южно-Сибирской горной областям. Земледельческие районы этой территории приурочены в основном к южно-таежно-лесной, лесостепной и степной зонам. В гидрографическом отношении это бассейны Верхнего Енисея, Верхнего Чулыма и Нижней Ангара.

Опыт научных исследований по гидрологии малых рек этой территории также невелик и рассматривает, в основном, водотоки более крупных порядков (А.Н. Афанасьев, А.Н. Антипов, Д.А. Бураков, Н.И. Горошкова, Л.М. Ершова, И.В. Крапивин, Л.М. Корытный, В.Д. Лексакова, И.Г. Фоломьев и др.).

Базовой основой их решения названных проблем явились натурные наблюдения за местным стоком, проведенные в 1972–1996 гг. лабораторией водных ресурсов Сибирского НИИ гидротехники и мелиорации (СибНИИГиМ) при непосредственном участии автора. Полевые работы включали наблюдения в малых опорных бассейнах и массовые маршрутные обследования территории в пределах Верхнеенисейского, Нижнеангарского и Верхнечулымского бассейнов. Исследования малых водотоков осуществлялись в соответствии с Методическими указаниями управления Гидрометслужбы и Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам.

Маршрутным обследованием около 1400 малых водотоков охвачены практически все земледельческие районы территории. Более детальные исследования осуществлены на 50 малых водосборах. На рис. 1–2 представлены маршруты обследования, а в табл. 2 – общие сведения о количестве обследованных малых водотоков, логов с дифференциацией по величине водосборной площади и природным условиям.

Характеристика местного стока. Полученные данные в совокупности с материалами наблюдений на стационарной сети ГМС позволили дать всестороннюю характеристику местного стока, отвечающую многообразию природноклиматических факторов в южной части Средней Сибири.

Весенний сток [1; 4–5]. Весеннее половодье на водотоках с площадью водосбора до 20–50 км² (логах, ручьях) начинается, как правило, на неделю раньше, чем на реках, и проходит быстрее. На открытых водотоках его продолжительность в два раза быстрее, чем на залесенных. Весенний сток формируется, главным образом, за счет таяния снеготавров, накопленных в бассейне за зимний период. Дожди, выпадающие в период формирования половодья, увеличивают его величину на открытых водосборах не более чем на 5–10%. Характер подстилающей поверхности открытых водосборов (пашня, стерня, луг, лесные колки) в значительной степени влияет на формирование запасов, что подтверждается исследованиями, проведенными в 1995–1996 гг. на землях ОПХ «Минино» и АО «Солонцы» (Красноярский край). Формирование максимального расхода половодья на малых открытых водотоках, представленных в данном случае 19-ю логами с площадями водосборов от 0,04 до 1,5 км², зависит от характера подстилающей поверхности, в значительной степени влияющей на формирование запаса воды в снеге перед началом снеготаяния.

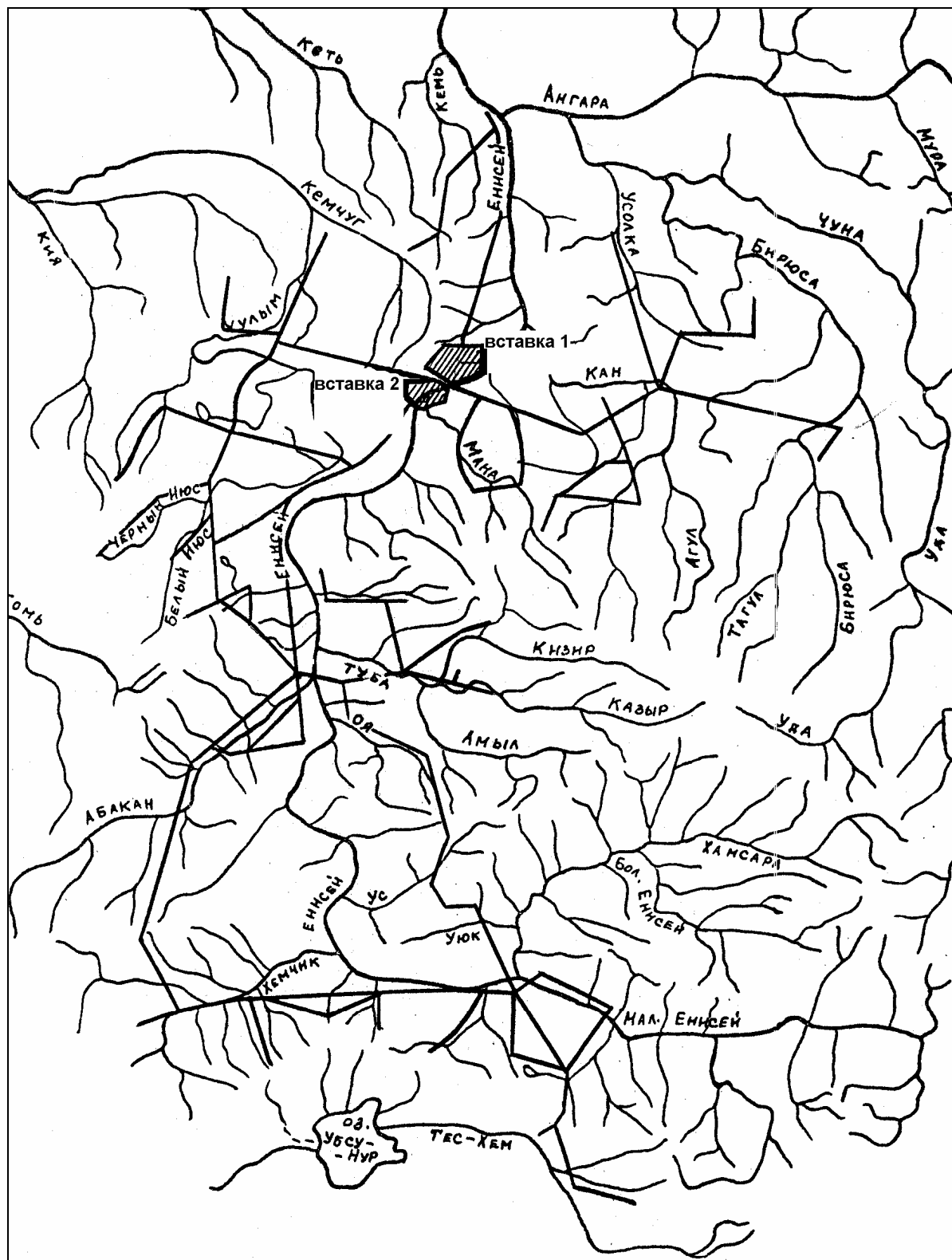


Рис. 1. Схема маршрутов натурного обследования территории

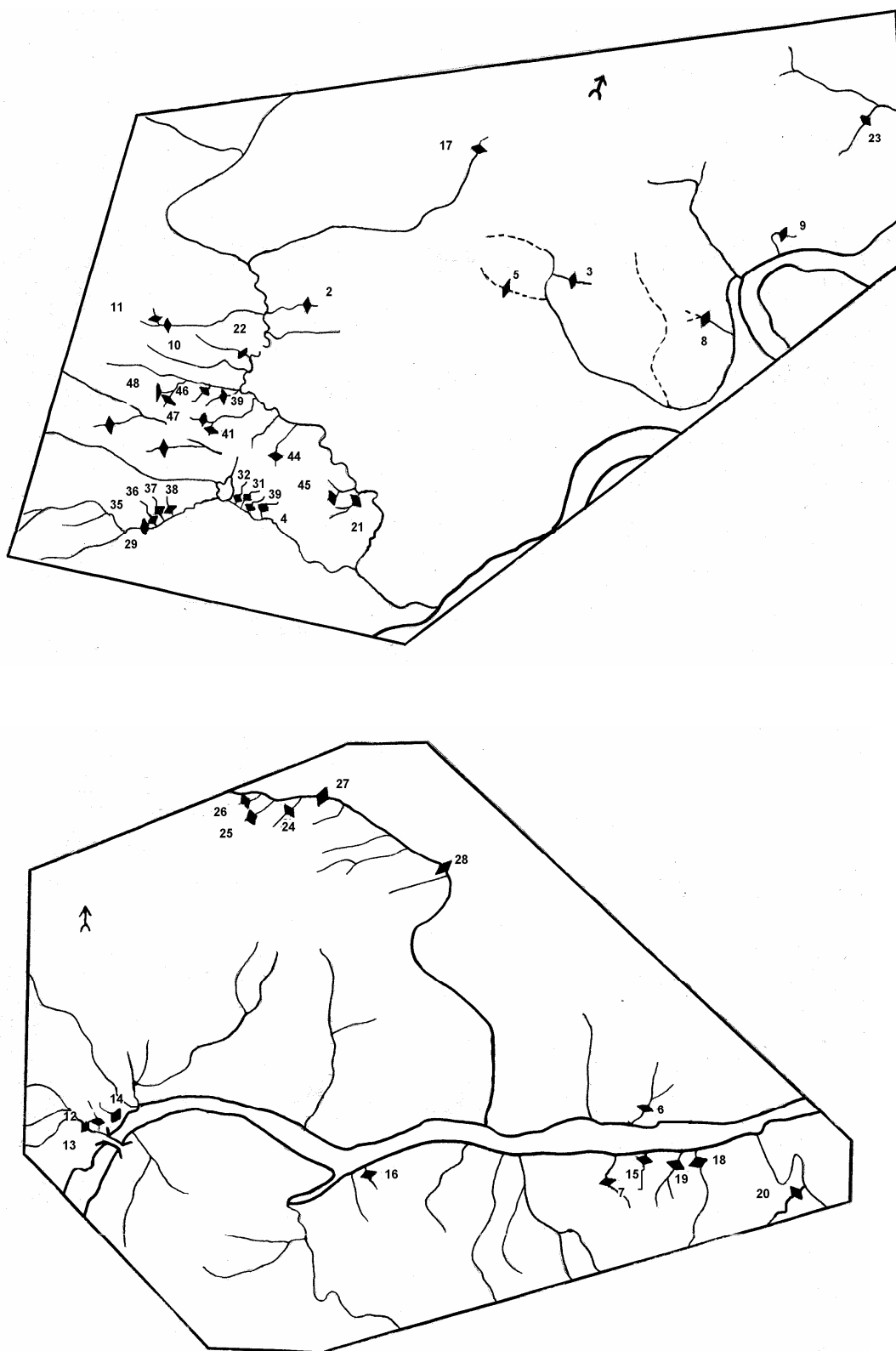


Рис. 2. Вставки 1 и 2 к схеме маршрутов натурного обследования

Количество обследованных водотоков в пределах исследуемой территории

Характер работ на водотоках	Градация площадей, км ²						Общее число
	1	1–5	5–10	10–20	20–50	50–100	
Открытые (степные, лесостепные)							
Водотоки, обследованные по пол- ной программе инженерно- гидрологических работ	15	24	9	8	6	4	66
Объекты оценки фоновой ситуации	118	119	53	34	8		332
Лесные							
Водотоки, обследованные по пол- ной программе инженерно- гидрологических работ	23	47	21	5	9	3	107
Объекты оценки фоновой ситуации	106	43	13	9			171
Горные (открытые)							
Водотоки, обследованные по пол- ной программе инженерно- гидрологических работ	3	12	3	8	1	1	28
Горные (лесные, таежные)							
Водотоки, обследованные по пол- ной программе инженерно- гидрологических работ	11	22	14	2	1	2	52
Горные							
Объекты оценки фоновой ситуации	23	46	1				70
Итого	299	313	114	66	25	10	827

Примечание. Дополнительно установлены метки высоких вод на 46 водотоках и зафиксирована фоновая ситуация на 520 водотоках.

По данным снегосъемок 1995 г., высота снежного покрова составила в среднем на пашне 9 см, на участках со стерней – 14, на луговых участках – 12, в березовых колках – 34 см. Соответственно наибольшие перед таянием запасы воды в снеге и ледяной корке составили 18, 31, 26 и 68 мм.

Диапазон максимальных весенних расходов 1995 г. от 3 до 260–290 л/с. При относительно равных площадях относительно высокие максимальные расходы зафиксированы на логах, подстилающая поверхность которых представлена лугом, стерней и березовыми колками. Максимальные расходы с распаханых логов оказались незначительными. Более чем в 2 раза меньше сформировался здесь и слой весеннего стока. Соответственно этим значениям определились и коэффициенты весеннего стока: с пахотных земель – 0,13–0,22; с луга – 0,25–0,35; с водосборов, имеющих различную залесенность, – 0,25–0,55.

В 1996 г. при практически таких же, как в 1995 году снегозапасах, сформировавшиеся максимальные расходы оказались в 3–10 раз ниже, что связано с малоинтенсивным, растянутым температурным режимом весны, определившим значительные потери талого стока. Коэффициенты весеннего стока не превысили с пахотных земель – 0,003–0,06, с луга – 0,012–0,014, с залесенных – 0,004–0,018.

Максимум половодья на малых водотоках проходит в среднем на 10–30-е сутки от его начала. Среднемноголетнее значение модуля максимального расхода изменяется в зависимости от природных условий в пределах от 6 до 180 л/с·км² на открытых водотоках, от 15 до 220 л/с·км² на лесных и от 23 до 500 л/с·км² на горно-таежных. Среднемноголетнее значение слоя весеннего стока колеблется соответственно в пределах 6–70 мм, 40–240 мм и 50–500 мм. Коэффициент вариации максимальных расходов составляет в среднем 1,4 ($C_v/C_s=2$) на открытых водотоках и $C_v/C_s=2,3$ – на залесенных. Средние значения коэффициента вариации слоя стока соответственно 1,64 и 0,5. При увеличении площади водосбора коэффициенты вариации уменьшаются до 0,3–0,4 и на открытых, и на залесенных водосборах.

Для открытых, лесных, закарстованных водотоков с площадями водосборов менее 50 км² установлено соотношение между слоем весеннего стока, максимальным влагозапасом в снеге, осадками, выпавшими в период половодья, и суммарным коэффициентом стока. В среднем, для открытых водосборов (степь, лесостепь) суммарный коэффициент стока составляет 0,22, для залесенных (лесные, горнотаежные) – более 0,5–0,6, закарстованных – 0,19.

Характерные значения суммарного коэффициента стока весеннего половодья (α_e) для малых водотоков

Природные условия	Среднее, α_e	Максимальные		Минимальные	
		$\alpha_{e, \max}$	Диапазон	$\alpha_{e, \min}$	Диапазон
Лесные, горнотаежные	0,60	0,83	0,80–0,85	0,24	0,15–0,43
Степные, лесостепные	0,22	0,41	0,21–0,58	0,045	0,01–0,12
Зарегулированные (карст)	0,19	0,24	0,22–0,27	0,14	0,08–0,24

Конкретные значения суммарных коэффициентов стока тесно увязываются с температурным режимом весны. В этом плане при анализе формирования половодья на очень малых водотоках наиболее показательны интегральные кривые хода температуры воздуха за период от первого, а неустойчивого ее перехода через 0°C. Это связано с тем, что процесс снеготаяния, водообразования и стока на малых водосборах в своей начальной стадии происходит при положительных дневных температурах и отрицательных среднесуточных. При интенсивном росте температур воздуха фиксируются более высокие значения коэффициентов стока, а при растянутом ходе температур, прерываемом периодами похолодания, минимальные значения.

Установлены типовые интегральные кривые, отвечающие условиям формирования половодья с максимальными и минимальными значениями суммарных коэффициентов стока, которые могут быть использованы для предварительной оценки весеннего стока с очень малых водосборов на основе прогноза температурного режима по известной величине влагозапаса в снеге.

Дождевой сток [1;4–6]. Дождевые паводки формируются в основном в период с мая по октябрь. Время прохождения и мощность дождевого паводка определяется, прежде всего, интенсивностью, слоем дождя и предшествующей увлажненностью бассейна. Наиболее высокие дождевые паводки наблюдаются в июле-августе, когда выпадают наиболее интенсивные ливневые дожди. Дождевой сток в 3–10 раз уступает по своему объему стоку за весеннее половодье.

В условиях открытой местности, как правило, осваиваемой под сельхозугодья, только каждый четвертый-пятый дождь (со слоем более 10 мм за 12-часовой интервал) формирует сток на малых водотоках. При одинаковых стокообразующих дождях на открытых водосборах формируются более высокие, чем на лесных, дождевые паводки.

Это явление обусловлено снижением потерь стока за счет меньшей скважности почвогрунтов, уменьшением потерь на смачивание менее развитой растительности, уменьшением времени добегания паводковых вод по открытому бассейну. Более кратковременный период добегания по водосбору еще в большей степени способствует формированию более мощных дождевых подъемов.

Среднегодовое значение модуль максимального расхода дождевых паводков изменяется в зависимости от природных условий: от 7 до 100 л/с·км² на открытых водотоках, от 25 до 170 л/с·км² – на лесных и горнотаежных. Коэффициент вариации максимального расхода в условиях открытой местности для водотоков с площадью водосбора до 20 км² составляет в среднем $C_v=2,5$ ($C_s/C_v=2$), в условиях лесного и горнотаежного ландшафта – $C_v=1,4$ ($C_s/C_v=2$). В целом с увеличением площади водосбора коэффициенты вариации уменьшаются до 0,6–1,0 ($C_s/C_v=1,3–2,4$).

При оценке дождевого стока (максимальных расходов $Q_{\max, D, 1\%}$ и слоев стока $U_{D, 1\%}$) для площадей водосбора 5, 10, 20, 50, 100 и 200 км² с дифференциацией по расчетной величине суточного количества осадков 1%-й обеспеченности ($X_{c, 1\%}$) отчетливо проявляется связь между $X_{c, 1\%}$ и $U_{D, 1\%}$ при равенстве водосборных площадей, что позволило представить слой дождевого паводка в виде схематических карт для равных водосборных бассейнов.

Переходные коэффициенты λ_Q и λ_U от значений максимального расхода и слоя стока дождевого паводка 1%-й обеспеченности к значениям этих характеристик других обеспеченностей дифференцированы по природным условиям и размерам водосборных площадей.

Минимальный сток и пересыхание [1;4–6]. Летне-осенняя межень формируется в разных природных зонах в различное время с мая по октябрь. В соответствии с увлажненностью бассейнов водность летней межени изменяется от наиболее низких значений минимального стока 0,1–0,5 л/с·км² в степных районах до 1–3 л/с·км² – в лесных и 10–15 л/с·км² – в горнотаежных районах. Для всех природных условий зна-

чения коэффициентов вариации с увеличением площади водосбора несколько уменьшаются, не выходя за пределы 0,2–0,39 ($C_v/C_s=1,4$).

Зональные значения стока имеют водотоки, площадь водосбора которых превышает некоторое критическое значение F' (км^2). На водотоках с меньшей водосборной площадью (5–100 км^2) при той же увлажненности бассейнов проявляется “неполнота”, обусловленная возрастанием в процессе дренирования, доли верхней безводной и малонасыщенной толщи почвогрунтов.

Для оценки явления пересыхания, которое оставалось практически неизученным на рассматриваемой территории, использован индекс пересыхания I_n (отношение числа лет, в которые наблюдалось естественное прекращение стока к общему числу лет наблюдений). По существу он означает вероятность пересыхания, выраженную в долях единицы. По величине I_n водотоки подразделяются на постоянно действующие, постоянно пересыхающие и пересыхающие периодически. Пересыхание, как состояние водотока, определяется теми же факторами, что и минимальный летний сток: размером водосборной площади (F , км^2) и увлажненностью бассейна (X_r , мм), что подтверждается эмпирической зависимостью от них индекса пересыхания I_n .

Сконструированы карты изменений индексов пересыхания для рассматриваемой территории, соответствующие водотокам с площадями 5, 10, 20 и 50 км^2 . Такие карты представляют практический интерес для конкретного принятия решений по водопользованию.

Годовой сток и внутригодовое распределение [1;4–6]. Характер распределения годового стока соответствует характеру изменения увлажненности территории. Среднегодовое значение модуля годового стока в лесостепной зоне составляет от 1 до 4 л/с· км^2 , в лесной (таежной) – от 2 до 12 и в горнотаежной от 4 до 55 л/с· км^2 .

Норма слоя годового стока составляет соответственно 30–100 мм, 60–400 мм и 100–1200 мм. Статистический параметр изменчивости стока изменяется в степной (лесостепной) зоне от 0,26 до 0,81, в лесной (таежной) от 0,25 до 0,30 и в горнотаежной от 0,30 до 0,50. Понимая годовой сток, как интегральную характеристику, синтезирующую в себе все особенности сезонных составляющих, установлены соотношения равнообеспеченных значений весеннего и годового стока для различных лет водности и природных зон. Они позволяют определить величину годового стока по известному значению слоя стока за половодье.

Анализ обобщенной информации позволил провести районирование территории по преобладающим типам внутригодового распределения и определить типовые схемы помесечного распределения стока малых рек и водотоков по гидрографам реальных лет для условий различной водности (5, 25, 50, 75, 95%-й обеспеченности), которая оценивалась по вероятности превышения годового стока. Группировка рек по типам внутригодового распределения осуществлена с учетом прохождения наибольшей доли годового стока в конкретный месяц (апрель–июль).

Акцентируется внимание на распределении стока по месяцам для водотоков с площадями водосборов менее 50 км^2 для условий средних, многоводных и маловодных лет. Максимальная доля годового стока на малых водосборах степной, лесостепной зон проходит в апреле (50–100%), лесной и горно-таежной зон – в мае (30–60%). Наиболее раннее (март) начало весеннего поступления стока характерно для открытых водотоков степной (лесостепной) зон, функционирующих только весной.

На основе помесечного распределения стока установлено его сезонное распределение для лет различной водности ($p = 5, 50, 95\%$), генерализированно отражающее внутригодовое распределение местного стока в различных природных условиях.

Расчет характеристик местного стока. Использование способов расчета, рекомендуемых нормативными документами в данном регионе, затруднено в связи с ограниченными возможностями в выборе рек-аналогов, особенно в диапазоне водотоков с площадями водосборов меньше 20–50 км^2 , поэтому при оценке гидрологических характеристик стока малых рек и водотоков в слабоизученных районах следует отдавать предпочтение региональным расчетным методам, как наиболее простым и отвечающим меньшему диапазону условий формирования стока в пределах ограниченной территории. Результаты поверочных расчетов по нормативам (СН-435-72, СНиП 2.01.14-83), региональным методикам (Красноярский Госкомгидромет, И.В. Крапивина, М.В. Тепцова), лаборатории водных ресурсов СибНИИГиМ позволили рекомендовать последние в качестве оптимальных расчетных способов. Они наиболее приемлемы для неизученных водотоков начальных порядков.

Рекомендуемые способы нашли применение и для определения водообеспеченности полевых участков в условиях лесостепи Красноярского края по административным районам, как необходимое условие

внедрения систем земледелия на ландшафтно-экологической основе [7–8]. Разработанные способы представляют собой комплекс решений по оценке характеристик годового, максимального стока весенних половодий и дождевых паводков, минимального стока летне-осенней и зимней межени, внутригодового распределения стока для малых рек и водотоков с площадью водосборов менее 200 км² [1; 6–8].

В основе расчетного способа определения максимального стока лежит редуционная формула стока, т.е. зависимость модуля максимального расхода водотока от неподверженного редукции максимального расхода воды с элементарной площади $F \rightarrow 0$ (максимальная водоотдача M_3), редуцируемого по величине водосборной площади. Особенность решения – в конкретном определении параметра M_3 и показателя степени редукции для каждого расчетного бассейна по эмпирическим связям с природными факторами. Для исследуемого района использована зависимость максимальной водоотдачи дождевого стока от суточных осадков 1%-й обеспеченности ($X_{с,1\%}$), а для весеннего максимума – от суточного слоя водообразования ($S_M + X$)_{1%}, формирующегося в результате снеготаяния и возможного выпадения дождей. Показатель степени редукции n для дождевых паводков определяется по величине водосборной площади, для весенних половодий – по разности высот в бассейне. Средняя погрешность расчета составляет ± 20 –30%.

Расчетный способ для определения минимального стока базируется на установленных эмпирических связях между среднегодовыми значениями модулей минимальных суточных расходов ($\overline{M}_{mn}$) и годовых осадков ($\overline{X}_Г$), приведенных к средней высоте водосбора (коэффициенты корреляции составляют соответственно 0,962 и 0,009).

Как уже упоминалось, в силу природно-климатической обусловленности стока, водотоки с одинаковыми природно-климатическими условиями имеют практически равные модули минимального летнего стока или “полный” меженный сток. Это явление наблюдается до определенного размера водосборной площади, ниже которой снижается полнота дренирования за счет сокращения числа действующих водоносных горизонтов. Такие водотоки имеют “неполный” меженный сток. Границей между ними служит критическое значение площади F' , величина которой увеличивается с уменьшением увлажненности бассейна. В сухих районах отмечаются постоянно пересыхающие водотоки с площадью водосбора F_0 , соответствующей безводной толще почвогрунтов. Критическое значение F' изменяется не только в пространстве, но и во времени, в зависимости от увлажнения конкретного года. Для определения F' установлена ее зависимость от характера природной зоны и степени увлажненности бассейна. Возможны следующие варианты решения задач по определению параметров минимального летнего суточного стока:

- площадь водосбора расчетного водоисточника F больше критического значения F' , т.е. водоток имеет “полный” зональный сток летней межени;
- площадь водосбора расчетного водоисточника F меньше критического значения F' , но больше F_0 , т.е. водоток имеет “неполный” меженный сток;
- площадь водосбора расчетного водоисточника меньше критического значения F_0 , т.е. водоток пересыхает и, следовательно, модуль минимального летнего стока равен 0.

Характеристики минимального стока зимней межени рассматриваются в зависимости от характеристик минимального летнего стока для условий конкретного водотока. Расчет выполняется через переходный коэффициент K_3 от значения нормы минимального летнего суточного стока к среднегодовому значению модуля минимального суточного стока зимней межени. Минимальный зимний суточный сток различных обеспеченностей определяется приемами математической статистики по коэффициенту вариации $C_v, mn, з.с$, оцениваемому в зависимости от величины среднегодового модуля. Средняя погрешность расчета составляет 26–35%.

В основе расчета годового стока и его внутригодового распределения рекомендуемого расчетного способа лежат установленные для региона зависимости $\overline{M} = f(\overline{X}_Г)$, определяющие среднегодовое значение модуля годового стока по величине среднегодовых годовых осадков, приведенных к средней высоте водосбора (корреляционные отношения составили 0,94–0,98). Такие зависимости отвечают условиям превышения площади водосбора критического значения F' , что свидетельствует о формировании “полного” стока. Для рек меньшего порядка ($F < F'$) учитывается “неполнота” стока, обусловленная “неполнотой” стока в меженный период. Расчет обеспеченных значений годового стока выполняется статистическими приемами по величине коэффициента вариации, определяемого по коэффициенту вариации годовых осадков.

Внутригодовое распределение слоя стока малых рек и водотоков устанавливается на основе типовых схем распределения стока по месяцам и районирования территории по типам распределения.

Природоохранные аспекты использования местного стока. Использование местного стока, предотвращающее количественное истощение водотоков, основывается на природоохранном нормировании, реализация которого возможна лишь при разработке гидрологических решений по определению природоохранной водности малых рек и водотоков.

Оценка степени использования водоресурсного потенциала малых рек рассматриваемого района (в период наибольшего развития сельскохозяйственной отрасли региона) выявила современные и перспективные зоны критического водопользования в летний период (Богградский, Усть-Абаканский и Бейский районы Хакасии, земледельческие территории Рыбинского, Канского, Иланского и других районов Красноярского края, аграрные районы Тывы).

Принятые принципы оценки природоохранных значений водности рек отходят от общепринятых решений, предусматривающих установление величины природоохранного стока как стабильной доли минимального среднемесячного расхода 95%-й обеспеченности. Предлагаемые автором решения основаны на том, что состояние речного бассейна варьирует в определенных естественных пределах, поэтому водоток может выдержать искусственное воздействие, не выводящее его за рамки естественных природных колебаний. В связи с этим величина природоохранной водности может изменяться от года к году, в календарных пределах отдельных фаз водного режима в зависимости от реальной водности рек [1; 9–11].

Природоохранный сток, резервируемый ниже створов изъятия (регулирования), моделируется по трем фазам водного режима с определением соответствующих значений природоохранных расходов воды, которые считаются достаточными для нормального функционирования пойменного руслового комплекса водотока. Для весеннего половодья в качестве базового природоохранного расхода принят расчетный суточный максимум пиковой части гидрографа, при котором гарантируются средние условия затопления поймы как обязательного признака естественного процесса существования малой реки. Такой расход соответствует уровню воды в реке, при котором обеспечивается затопление поймы на глубину, равную средней ее величине за годы реального прохождения процесса.

Для периодов летне-осенней и зимней межени введено понятие верхнего (оптимального) и нижнего (минимального) пределов природоохранных расходов воды, между которыми должна варьировать природоохранная водность водотока.

Минимальное значение природоохранного расхода воды летне-осенней межени отвечает условиям незаиления, незаращаемости и предотвращения застоя водных масс. В качестве ограничительных критериев потока приняты средняя глубина $h_{ср} = 0,1–0,2$ м и средняя скорость $V_{ср} = 0,15–0,20$ м/с (Р.А. Нежиховский, В.Н. Дерябин, И.М. Ширяк). Расходы воды, обеспечивающие такое предельное состояние, должны сохраняться в русле в моменты наиболее глубокой летней межени.

Верхний предел природоохранных расходов воды в период летне-осенней межени представляет собой среднее многолетнее значение расхода воды за устойчивую межень, не прерываемую дождевыми подъемами. Он характеризует необходимую оптимальную водность при функционировании в средних условиях заполнения русла.

Для характеристики базовых природоохранных расходов воды использована унифицированная форма выражения в виде их вероятности превышения (обеспеченностей). Для весеннего максимального природоохранного расхода воды $Q_{np, mx}$ обеспеченность устанавливается относительно ежегодных максимальных срочных расходов воды весеннего половодья, для летне-осеннего периода – относительно среднее многолетнее значения минимального суточного расхода воды, для зимнего – относительно среднее многолетнее значения минимального зимнего суточного расхода воды.

По результатам анализа обеспеченность природоохранного максимального расхода воды в период весеннего половодья на реках различных природных зон составляет от 15 до 40%. Обеспеченность минимальных значений природоохранных расходов в летне-осенний период – от 50 до 90%, оптимальных значений – от 15 до 50%. Для зимней межени обеспеченность природоохранного минимума ($Q_{np, 3, mn}$) колеблется в пределах 50–90%, природоохранный оптимум ($Q_{np, 3, o}$) принят равным 25%. Дополнительным аргументом для принятия такого решения послужили установленные факты несоответствия содержания кислорода и pH нормативным показателям зимних расходов воды, имеющих обеспеченность более 25%.

Методика построения гидрографов природоохранного стока малых рек и водотоков рассматривает три основные фазы водного режима: весеннее половодье, летне-осеннюю межень, зимнюю межень.

Гидрограф природоохранного стока за период весеннего половодья моделируется в виде параболы второй степени, описывающий его подъем

$$Q_{t, \text{п}, \%} = K_Q Q_{\text{п}, \text{mx}} \left(\frac{t}{t_n} \right)^2 \quad (1)$$

и спад

$$Q_{t, \text{п}, \%} = K_Q Q_{\text{п}, \text{mx}} \left(\frac{t_{\text{п}} - t}{t_{\text{п}} - t_n} \right)^2, \quad (2)$$

где $Q_{t, \text{п}, \%}$ – расчетное значение природоохранного расхода воды ($\text{м}^3/\text{с}$) в гарантированный период половодья; K_Q – переходный коэффициент от срочного к среднесуточному значению максимального расхода весеннего половодья; $t_{\text{п}}$ – расчетные (для различной обеспеченностей $p = p_{\text{п}, \text{mx}}\%$) продолжительности половодья в сутках.

Природоохранная водность летне-осеннего периода устанавливается в зависимости от реальной или расчетной водности водотока в пределах, ограничиваемых минимальной $Q_{\text{п}, \text{л}, (\text{mn})}$ и оптимальной $Q_{\text{п}, \text{л}, (\text{o})}$, величинами природоохранного расхода воды, соответствующими данному периоду. Такие расходы должны гарантироваться в реке соответственно при низкой $Q_t \leq Q_{\text{п}, \text{л}, (\text{mn})}$ и высокой $Q_t \geq Q_{\text{п}, \text{л}, \text{с}, 5\%}$ летней водности. При промежуточных значениях водности водотока природоохранные расходы определяются в соответствии с величиной коэффициента λ_t текущего или расчетного расхода воды ($\lambda_t = Q_t / \overline{Q}_{\text{mn}, \text{с}}$).

В целом реализуется система уравнений:

$$Q_{\text{п}, \text{с}, t} = \begin{cases} Q_t \dots\dots\dots \text{при}.. Q_t \leq Q_{\text{п}, \text{с}, (\text{mn})} & (3) \\ Q_{\text{п}, \text{с}, (\text{mn})} + \frac{Q_{\text{п}, \text{с}, \text{o}} - Q_{\text{п}, \text{с}, \text{mn}}}{\lambda_{\text{mn}, \text{с}, 5\%} - \lambda_{\text{п}, \text{с}, (\text{mn})\%}}, & (4) \\ (\lambda_t - \lambda_{\text{п}, \text{с}, (\text{mn})\%}) \dots\dots\dots \text{при}.. Q_{\text{п}, \text{с}, 5\%} > Q_t \geq Q_{\text{п}, \text{с}, (\text{mn})\%} & (5) \\ Q_{\text{п}, \text{с}, (\text{o})} \dots\dots\dots \text{при} Q_t \geq Q_{\text{п}, \text{с}, 5\%} & \end{cases}$$

где $Q_{\text{п}, \text{с}, t}$ – значение природоохранного расхода ($\text{м}^3/\text{с}$, л/с) в каждый момент t периода летне-осенней межени;

Q_t – реальные или расчетные расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$, л/с) в моменты t рассматриваемого меженного периода;

λ_t – модульный коэффициент реального (расчетного) расхода воды Q_t (в долях от 1), т.е. отношение $Q_t / \overline{Q}_{\text{mn}, \text{с}}$;

$\lambda_{\text{mn}, \text{с}, 5\%}$ – модульный коэффициент минимального летнего расхода воды 5%-й обеспеченности. В зимний период реализуется аналогичный принцип расчета.

Базовые природоохранные расходы, используемые при построении гидрографов природоохранного стока, возможно определить с помощью экспресс-метода, в котором сокращены промежуточные этапы на основе использования предварительно разработанных схематических карт изолиний базового элементарного модуля природоохранного максимального расхода весеннего половодья, а также зональных значений модуля минимального и оптимального природоохранных расходов в летний период. Учитывается и «неполнота» минимального летнего стока.

Природоохранное нормирование предполагает установление пределов забираемого из водоисточников количества воды. Допустимый эксплуатационный расход воды $Q_{\text{э}, t}$ ($\text{м}^3/\text{с}$), при изъятии которого не нано-

сится ущерб состоянию водотока, определяется как превышение текущего расхода в момент времени t (Q_t , м³/с) над природоохранным расходом $Q_{пр,t}$.

Конкретные решения по нормированию водопользования в весенний период (регулированию аккумуляции и сбросов в нижние бьефы, заборов воды из русел рек) принимаются на основе совместного анализа реальных и природоохранных значений максимальных расходов и продолжительности половодья. В летне-осенний период потенциал водопользования изменяется в соответствии с наблюдаемым реальным графиком стока $Q_{(t)}$ и графиком природоохранного стока $Q_{пр,л,t}$, рассматриваемого по системе уравнений (3)–(5). Если $Q_{(t)}$ меньше природоохранного значения $Q_{пр,л,t}$ – изъятие стока нежелательно.

Резюмируя вышеизложенное, можно констатировать, что изучение стока, формирующегося в пределах низших географических единиц, разработка способов расчета естественной водности, принятые принципы оценки природоохранной водности, разработанная методика построения гидрографа природоохранного стока в комплексе позволяют решить обозначенные водноэкологические проблемы по водообеспечению и рациональному использованию водных ресурсов местного стока в агропромышленном комплексе.

Литература

1. Бабкина, И.В. Местный сток юга Средней Сибири: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / И.В. Бабкина. – Иркутск, 1997. – 21 с.
2. Бабкина, И.В. Местный сток – основа водообеспечения АПК Сибирского региона / И.В. Бабкина // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 4. – С. 15–16.
3. Бабкина, И.В. Изученность местного стока как один из факторов достижения устойчивого водопользования в Красноярском крае / И.В. Бабкина // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири: сб. ст. – Красноярск, 2000. – Вып. 2. – С. 54–59.
4. Бабкина, И.В. Водноресурсные показатели сохранения водоисточников от истощения в зоне АПК Сибири / И.В. Бабкина // Совершенствование ведения сельскохозяйственного производства в степной зоне Сибири: сб.ст. – Новосибирск, 1996. – С. 82–86.
5. Бабкина, И.В. Ресурсы стокообразования в бассейнах малых неизученных рек / И.В. Бабкина // Гидрологические основы водопользования ресурсами малых рек бассейнов Верхнего Енисея, Верхнего Чулыма и Нижней Ангары: рекомендации. – Красноярск, 1990. – С. 97–119.
6. Бабкина, И.В. Основные гидрологические характеристики малых неизученных рек / И.В. Бабкина [и др.] // Гидрологические основы водопользования ресурсами малых рек бассейнов Верхнего Енисея, Верхнего Чулыма и Нижней Ангары: рекомендации. – Красноярск, 1990. – С. 120–178.
7. Бабкина, И.В. Достоверная оценка местного стока как фактор повышения водообеспеченности сельскохозяйственного производства / И.В. Бабкина // Совершенствование ведения сельскохозяйственного производства в степной зоне Сибири: сб.ст. – Новосибирск, 1996. – С. 86–90.
8. Бабкина, И.В. Водные ресурсы агроландшафтов / И.В. Бабкина // Разработка проектов внутрихозяйственного землеустройства и систем земледелия на ландшафтно-экологической основе для лесостепи Красноярского края: метод. пособие / И.В. Бабкина [и др.]. – Новосибирск, 2002. – С. 53–63.
9. Бабкина, И.В. Методические рекомендации по расчету параметров местного стока в бассейне Енисея / А.В. Петенков, И.В. Бабкина. – Красноярск: СибНИИГиМ, 1989. – 79 с.
10. Бабкина, И.В. Метод расчета природоохранных значений стока малых рек земледельческой зоны Средней Сибири / А.В. Петенков, И.В., Бабкина, Л.М Ершова // Проблемы освоения и использования мелиорируемых земель Сибири: сб.ст. – Красноярск, 1996. – С. 45–53.
11. Бабкина, И.В. Разработка предельно допустимого норматива изъятия водного ресурса для малых рек Красноярского края / И.В. Бабкина // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири: сб.ст. – Красноярск, 2003. – Вып. 4. – С. 161–164.
12. Бабкина, И.В. Природоохранный сток воды как индикатор устойчивости малых рек юга Средней Сибири / И.В. Бабкина // Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. – 2005. – № 1. – Т. 7. – С. 34–51.

