

УДК 556.164.048

**УТОЧНЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА СТОК  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ВОДОСБОРОВ  
ОСНОВНЫХ РЕК СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТОБОЛ-ТОРГАЙСКОГО  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА**

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов  
Б.Б. Айтымова  
А.Т. Калибаева  
А.А. Белгожаева

*Предложена уточненная оценка влияния сельскохозяйственного освоения водосбора реки Тобол на ее сток. Показано, что значительное освоение речных водосборов приводит к значительному сокращению годового стока, особенно в маловодные годы. Полученные результаты могут быть использованы для устранения неоднородности рядов годового стока рек.*

Речная сеть Тобола принадлежит бассейну Карского моря. Река Тобол берет начало на восточных отрогах Южного Урала в 10 км к юго-западу от с. Саржан; впадает в р. Ертис с левого берега у г. Тобольска. Длина реки 1591 км, площадь бассейна 395000 км<sup>2</sup>; в пределах Костанайской области (до впадения р. Убаган) расположено только среднее течение реки протяженностью 682 км и часть ее водосбора площадью 121000 км<sup>2</sup>. На западе бассейн граничит с бассейном р. Урал, на юге и востоке – с водосборами р.р. Торгай и Есиль. Основными притоками р. Тобол являются: рр. Шортанды, Синташты, Аят, Уй, Тогузак и Убаган. В многолетнем разрезе сток р. Тобол подвержен значительным колебаниям, особенностью которых является чередование групп многоводных и маловодных лет.

Долины р. Тобол и ее основных притоков хорошо разработаны, их ширина достигает нескольких километров, от 2...3 км в верхнем течении до 20...30 км на нижнем участке. Пойма луговая, ровная, изредка пересечена староречьями. До устья р. Шортанды р. Тобол летом ежегодно пересыхает, и вода остается только в разобщенных плесах длиной 0,2...0,5 км, шириной 20...50 м и глубиной до 2...4 м и более. Ниже река пересыхает только в отдельные годы. После впадения р. Аят, размеры реки значительно увеличиваются на участке устье р. Аят – устье р. Убаган преобладают плесы длиной от

0,2 до 0,5 км, шириной 40...100 м, глубиной чаще всего 2...5 м. Перекаты обычно короткие (0,1...0,5 км) их ширина 5...15 м, глубина 0,1...0,5 м.

По размещению речной сети бассейн р. Тобол делится на три характерные части: левобережную, междуречье Тобол – Убаган и бассейн р. Убаган. Крупным левым притоком Тобола является р. Аят. Начинается Аят за пределами области при слиянии речек Караталы-Аят и Камышлы-Аят. Длина реки от истоков до устья составляет 117 км, водосборная площадь – 12,6 тыс. м<sup>2</sup> [5].

В результате хозяйственной деятельности многие притоки и сама р. Тобол зарегулированы многочисленными прудами и водохранилищами. До Костанайско – Курганской границы имеется 7 водохранилищ. Общий объём их составляет 1502,4 млн. м<sup>3</sup>, полезный – 1431,7 млн. м<sup>3</sup>, самые крупные: Верхнее-Тобольское – 816 млн. м<sup>3</sup>, Каратомарское – 586 млн. м<sup>3</sup>.

Освоение целинных и залежных земель на обширных территориях республики привело к существенному изменению водного режима рек и временных водотоков Северного и Центрального Казахстана. Большие изменения на поверхности водосборов рассматриваемых районов в связи с интенсивной распашкой и сельскохозяйственным освоением обширных пространств целинных и залежных земель не могли не отразиться на водном режиме и стоке рек.

Верхняя и средняя часть бассейна р. Тобол располагает большими земельными ресурсами, пригодными для земледелия. Начало их интенсивного использования связано с освоением целинных и залежных земель в Северном и Центральном Казахстане в середине 50-х годов. В это время распашка резко возросла. Продолжалась она и в 1956...1964 годах, но более медленно. Затем наступил период ее относительной стабилизации (рис. 1), характеризующийся сравнительно небольшими изменениями площади пашни, которые были обусловлены в основном временным выбыванием части земель из севооборота [6].

На рис. 1 приведены графики изменения во времени доли распаханых земель ( $K_d$ ) в бассейнах рек Тобол – г. Костанай, Тобол – с. Гришенка, Аят – с. Варваринка. Графики подтверждают динамику изменения сельскохозяйственного землепользования во второй половине прошлого века.

Такое масштабное агротехническое мероприятие не могло не отразиться в той или иной степени на изменении годового стока рек данного бассейна. Исследования, проводимые ГГИ в 1956 г. по данному вопросу пришли к следующим выводам, что возможное уменьшение нормы стока

для полей, полностью распашанных очень малых водосборов (площадью менее 10 км<sup>2</sup>), средних водосборов (около 50 км<sup>2</sup>) и более крупных бассейнов рек (от 3000 км<sup>2</sup>), в зависимости от водности района, в среднем соответственно составляет: от 15 до 50 %, от 15 до 25 %, от 10 до 20 % и менее 10 %. На водосборах, сложенных в основном рыхлыми (супесь, песок, щебень) почвогрунтами, оно будет больше, а на глинах – меньше указанных величин. Уменьшающая поверхностный сток роль пахоты на пологих водосборах (со средним уклонами менее 5...6 %) будет проявляться сильнее, а на крутых (уклоны свыше 15 %) – слабее. В очень многоводные и маловодные годы сток рек и временных водотоков под влиянием распашки их водосборов практически не изменится.

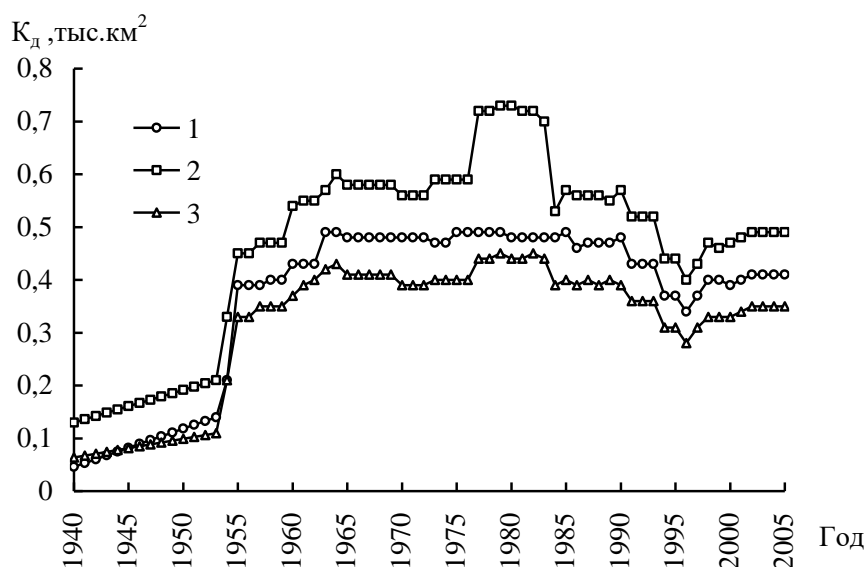


Рис. 1. Изменение во времени доли распашанных земель: 1 – бассейн р. Тобол до с. Гришенка; 2 – бассейн р. Аят до с. Варваринка; 3 – бассейн р. Тобол до г. Костанай.

Комплексное использование и охрана водных ресурсов при той интенсификации развития производительных сил, которая имела место в начале второй половины 20 столетия, требовали постоянного совершенствования существующих методов расчета и прогноза изменений водного баланса и стока рек под влиянием хозяйственной деятельности. В 1976 году в ГГИ были разработаны «Методические рекомендации по оценке и учету влияния агролесомелиоративных мероприятий на годовой сток в гидрологических расчетах».

Рекомендациями предусматривается способ оценки влияния агролесомелиоративных мероприятий на речной сток – это косвенный метод, основанный на результатах анализа испарения с почвы и изменений этой величины на лесоаграрных комплексах. Согласно уравнению водного баланса, любое изменение суммарного испарения под влиянием сельскохозяйственного освоения территории должно соответственно отразиться на годовом стоке [3]. Результаты этих исследований приобретают существенное значение для оценки влияния указанных мероприятий в районах с неустойчивым снежным покровом. Оценка влияния считается достоверной, если разница результатов расчета не превышает 20...25 %. Данный способ основан на методе анализа водного баланса. Балансовые методы более универсальны; они позволяют наиболее достоверно оценить изменения стока, происшедшие в прошлом, настоящем и ожидаемые в будущем. Позднее, при дальнейших методических разработках в данном направлении на основе дополнительного накопления необходимой информации по водному балансу производились уточнения выше упомянутых рекомендаций. В последствии ГГИ выпустили «Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования», где подробно излагаются основные методы оценки и учета всего комплекса хозяйственных мероприятий на речной сток [4]. Руководствуясь данными Методическими рекомендациями, был произведен расчет оценки влияния агротехнических мероприятий на годовой сток основных рек Торгайского водохозяйственного бассейна (р. Тобол – г. Костанай, р. Тобол – с. Гришенка, р. Аят – с. Варваринка).

Изменение стока под влиянием агротехнических мероприятий для степной зоны Северного Казахстана определяется по формуле:

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \left[ 0,003 \bar{X} H^{0,71} \left( \frac{1,42}{(H+1)^{0,45}} - 0,02 \right) K_{w(p)} K_w' K_w'' f_H \right] K_{xw} - \sum_{i=1}^n \left[ \frac{0,06 (\bar{S} + \bar{x}) I^{0,44}}{(I+1)^{0,23}} K_{y(p)} K_y' K_y'' f_H \right] K_{xy}, \quad (1)$$

где  $\Delta Y$  – изменение годового стока рек под влиянием агротехнических мероприятий на их водосборах, мм;  $\sum_{i=1}^n$  – суммарное изменение стока на n-ом участке с преобразованным стоком на водосборе с учетом различия в почвогрунтах, уклонах склонов и глубинах до уровня грунтовых вод;  $\bar{X}$  – сред-

няя многолетняя сумма осадков, мм;  $\bar{S}$  – среднее многолетнее значение максимальных запасов воды в снеге на сельскохозяйственных полях, мм;  $\bar{x}$  – атмосферные осадки за период склонового стекания, мм;  $f_H$  – доля площади водосбора под пашней в пределах суглинистых и супесчаных почвогрунтов с глубинами до уровня грунтовых вод  $H$  см;  $K_{y(p)}$ ,  $K_{w(p)}$  – коэффициенты для вычисления изменений стока (склонового и грунтового) любой заданной обеспеченности  $P$ ;  $K'_y$ ,  $K'_w$  – коэффициенты для вычисления изменений стока (склонового и грунтового) на супесчаных и суглинистых почвогрунтах (на суглинистых почвогрунтах коэффициенты равны единице);  $K''_y$ ,  $K''_w$  – коэффициенты, учитывающие глубину распашки ( $> 25$  см) и сопутствующие агротехнические мероприятия;  $K_{xy}$ ,  $K_{xw}$  – коэффициенты, учитывающие водность района в пределах природных зон [1].

В табл. 1...3 приведены результаты оценки влияния распаханых площадей на сток рр. Тобол – с. Гришенка, Тобол – г. Костанай, Аят – с. Варваринка. В столбце 2 помещены исходные данные о стоке рек до 1954 г. т.е. в естественных условиях, при отсутствии влияния на его величину хозяйственной деятельности. Для реки Тобол – с. Гришенка это влияние изменяется от минус 1 % до минус 43 % в маловодный год. В среднем за период 1931...1953 гг. это влияние оценивается на минус 14 %.

Таблица 1

Изменение годового стока р. Тобол в створе с. Гришенка под влиянием распаханности водосбора

Год	Годовой сток, Q мм	Доля распаханых земель	Изменение стока, $\Delta Q$		Q+ $\Delta Q$ , мм
			$\Delta Q$ F <sub>отн.</sub> , мм	%	
1931	8,7	0,43	-0,7	-8,38	7,94
1932	24,3	0,43	-0,4	-1,48	23,9
1933	1,8	0,43	-0,8	-43,1	1,03
1934	7,0	0,43	-1,0	-13,6	6,07
1935	0,4	0,43	-0,1	-12,2	0,39
1936	0,3	0,43	0,0	-10,4	0,3
1937	0,045	0,43	0,0	-37	0,03
1938	0,8	0,43	-0,1	-15,2	0,64
1939	1,1	0,43	-0,3	-25,1	0,83
1940	3,8	0,43	-1,0	-25	2,86
1941	91,1	0,43	0,6	0,64	91,7
1942	76,1	0,43	0,1	0,15	76,2
1943	19,5	0,43	-0,6	-2,91	18,9

Год	Годовой сток, Q мм	Доля распаханых земель	Изменение стока, ΔQ		Q+ΔQ, мм
			ΔQ F <sub>отн.</sub> , мм	%	
1944	2,0	0,43	-0,8	-43	1,12
1945	8,1	0,43	-1,0	-11,9	7,12
1946	37,7	0,43	-0,4	-0,95	37,3
1947	68,8	0,43	-0,4	-0,52	68,4
1948	53,0	0,43	-0,4	-0,68	52,6
1949	4,0	0,43	-1,0	-24,1	3
1950	17,3	0,43	-0,6	-3,28	16,7
1951	1,4	0,43	-0,5	-35,9	0,91
1952	16,0	0,43	-0,6	-3,54	15,4
1953	17,5	0,43	-0,6	-3,23	17

Таблица 2

Изменение годового стока р. Тобол в створе г. Костанай под влиянием распаханности водосбора

Год	Годовой сток, Q мм	Доля распаханых земель	Изменение стока, ΔQ		Q+ΔQ, мм
			ΔQ F <sub>отн.</sub> , мм	%	
1931	6,5	0,44	-0,7	-11,5	5,74
1932	15,0	0,44	-0,5	-3,34	14,50
1933	2,8	0,44	-1,0	-34,9	1,80
1934	5,6	0,44	-1,0	-17,4	4,62
1935	2,0	0,44	-0,9	-43,0	1,16
1936	2,0	0,44	-0,7	-34,7	1,28
1937	0,9	0,44	-0,1	-10,8	0,77
1938	1,1	0,44	-0,3	-24,4	0,81
1939	1,3	0,44	-0,4	-33,7	0,88
1940	3,2	0,44	-1,0	-30,4	2,23
1941	41,0	0,44	0,6	1,45	41,6
1942	45,4	0,44	0,1	0,25	45,6
1943	12,8	0,44	-0,7	-5,8	12,1
1944	3,0	0,44	-1,0	-32,7	2,00
1945	7,5	0,44	-1,0	-13,1	6,55
1946	26,6	0,44	-0,4	-1,4	26,3
1947	44,4	0,44	-0,4	-0,8	44,0
1948	28,9	0,44	-0,4	-1,3	28,5
1949	4,5	0,44	-1,0	-21,5	3,56
1950	12,8	0,44	-0,7	-5,8	12,1
1951	3,2	0,44	-1,0	-29,6	2,29
1952	10,6	0,44	-0,7	-6,99	9,89
1953	15,1	0,44	-0,7	-4,9	14,3

Изменение годового стока р. Аят в створе с. Варваринка под влиянием распаханности водосбора

Год	Годовой сток, Q мм	Доля распаханной земель	Изменение стока, $\Delta Q$		Q+ $\Delta Q$ , мм
			$\Delta Q$ Фотн., мм	%	
1931	12,5	0,54	-1,2	-9,3	11,4
1932	26,2	0,54	-0,7	-2,6	25,5
1933	6,65	0,54	-1,2	-17,5	5,48
1934	11,1	0,54	-1,2	-10,5	10
1935	5,49	0,54	-1,2	-21,2	4,33
1936	5,39	0,54	-1,2	-21,6	4,23
1937	1,05	0,54	-0,2	-22,8	0,81
1938	0,87	0,54	-0,1	-13,2	0,76
1939	3,95	0,54	-1,2	-29,4	2,79
1940	11,1	0,54	-1,2	-10,5	9,89
1941	69,6	0,54	-0,4	-0,6	69,2
1942	86,1	0,54	0,7	0,9	86,8
1943	23,2	0,54	-0,7	-2,9	22,5
1944	9,52	0,54	-1,2	-12,2	8,35
1945	15	0,54	-0,9	-5,9	14,1
1946	40,9	0,54	-0,4	-1	40,5
1947	72,8	0,54	0,2	0,2	72,9
1948	44,1	0,54	-0,4	-1	43,7
1949	11,3	0,54	-2,3	-20,5	9,01
1950	23,3	0,54	-0,7	-2,9	22,6
1951	9,52	0,54	-1,2	-12,2	8,35
1952	17,1	0,54	-0,7	-4	16,4
1953	36,7	0,54	-0,4	-1,2	36,3

Для р. Тобол в створе г. Костанай влияние распаханности водосбора на годовой сток изменяется от минус 1 % до минус 43 % в маловодный год. В среднем за период 1931...1953 гг. это влияние составляет минус 16 % от годового стока.

Для р. Аят влияние распаханности водосбора на сток изменяется от минус 1 % до минус 30 %. В среднем за период 1931...1953 гг. это влияние составляет минус 10 % от годового стока.

Следует отметить, что при использовании этой методики для речных бассейнов, расположенных в засушливых районах Северного и Центрального Казахстана, в ряде случаев были получены довольно значительные отрицательные поправки, отражающие влияние агролесомелиоративных мероприятий на сток, которые существенно превышали минус 100 %.

Так, по р. Тобол в створе с. Гришенка влияние агротехнических мероприятий ( $\Delta Q$ ) за 1935 г. составляет минус 0,9 мм (210 %). За 1936 г. – минус 0,8 (228 %), за 1937 год – минус 0,6 (1246 %). По р. Аят в створе с. Варваринка влияние агротехнических мероприятий ( $\Delta Q$ ) за 1937 год составляет минус 0,9 мм (87 %). За 1938 год – минус 0,7 (80 %). По р. Тобол в створе г. Кустанай влияние агротехнических мероприятий ( $\Delta Q$ ) за 1938 г. составляет минус 1,0 мм (90 %).

Естественно такие результаты не соответствовали действительности. В связи с этим возникла необходимость установления причин, приводящих к таким результатам, и разработки способов их уточнения. По нашему мнению указанные обстоятельства связаны с отсутствием в методике учета действующей площади водосбора при формировании речного стока. Представление о действующей площади водосбора и необходимости ее использования при гидрологических расчетах впервые встречается в работах А. Б. Заводчикова [2]. По его мнению, действующей площадью водосбора, является та его часть, которая принимает участие в формировании речного стока. Как известно, в засушливые годы сток в районах Северного и Южного Казахстана формируется в основном за счет снегозапасов накопленных за зимний период в гидрографической сети водосбора и примыкающих к ней участков склонов, которые составляют 2...5 % его общей площади. В многоводные годы в формировании стока за счет снегозапасов принимает участие почти вся площадь речного бассейна. Изменение действующей площади водосбора А.Б. Заводчиков в основном связывает и изменение водности года – т. е. стока различной обеспеченности. Однако действующая площадь для рек с относительно низкой водоносностью изменяется в основном от 25 % до 40...50 %, в то время как для рек с высокой водоносностью она, как правило, составляет не менее 50 %. Таким образом, действующая площадь водосбора зависит как от водности района, в котором он расположен, так и от водности года. В качестве характеристики водоносности и водности можно использовать относительные параметры – слой стока или модуль стока. Зависимость действующей площади бассейна от модуля стока или слоя стока по нашему мнению может быть представлено в следующем виде:

$$F_{Д} = \frac{A}{1 + \exp(a - \nu h)} + c, \quad (2)$$

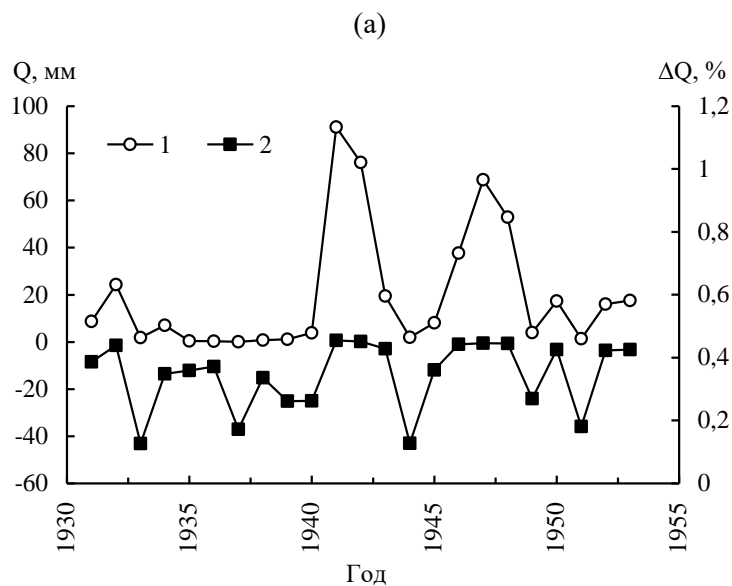
где  $F_{Д}$  – относительная действующая площадь водосбора, в долях единицы;  $h$  – слой стока, мм;  $A$  – амплитуда основных изменений действующей



площади, в долях единицы,  $c$  – минимальная действующая площадь, равная площади гидрографической сети водосбора, в долях единицы;  $a$ ,  $b$  – параметры. Для решения задачи по оценке влияния агролесомелиоративных мероприятий на речной сток параметры выражений (2) в первом приближении могут быть приняты:  $A = 0,98$ ,  $c = 0,02$ ,  $a = 4,76$ ,  $b = -3,40$ .

По мере накопления исходных материалов и результатов оценки влияния агролесомелиоративных мероприятий на речной сток параметры формулы (2) следует уточнять. Полученные характеристики действующей площади водосбора при использовании изложенной выше расчетной схемы по нашему мнению следует умножать на коэффициенты  $K_{ху}$ , и  $K_{хв}$ , учитывающие водоносность и водность района в пределах отдельных природных зон. Следовательно, можно полагать, что действующая площадь водосбора зависит от водности рек. С увеличением водоносности реки она увеличивается до 90...100 %, а с их уменьшением – уменьшается до 2...5 %. В качестве характеристики водоносности и водности реки могут быть использованы как уже отмечалось выше такие характеристики как слой и модуль весеннего или годового стока.

С учетом  $F_d$  поправки, учитывающие хозяйственную деятельность (столбец 6 в табл. 1...3), уже не превышают 100 %. Результаты оценки влияния распаханых площадей на сток р. Тобол – с. Гришенка, Тобол – г. Костанай приведены на рис. 2.



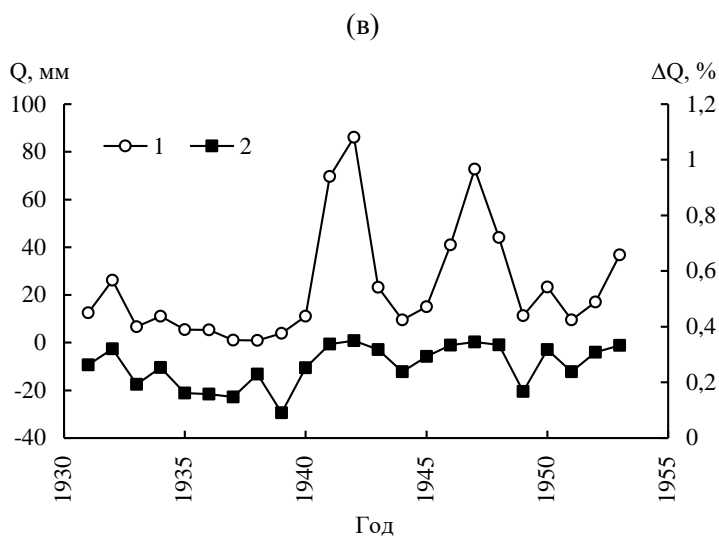
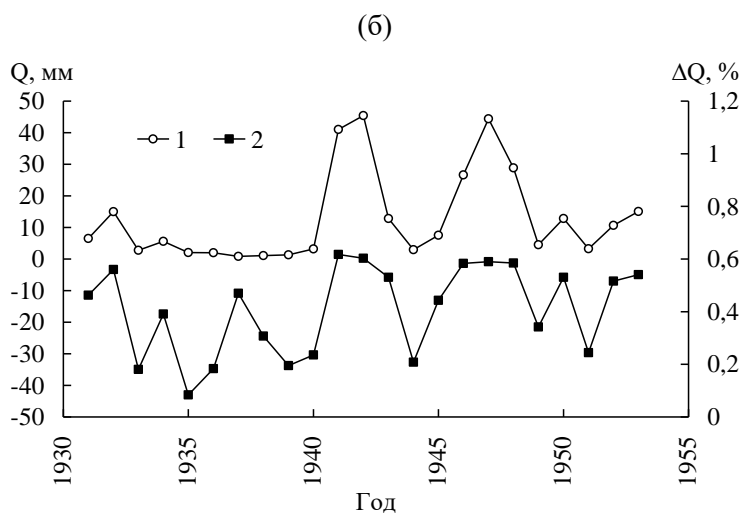


Рис. 2. Годовой сток р. Тобол – с. Гришенка (а), р. Тобол – г. Костанай (б), р. Аят – с. Варваринка (в) под влиянием агротехнических мероприятий: 1 – годовой сток реки в естественных условиях, мм; 2 – изменение стока в %.

На рис. 2 видно, что влияние распаханности на сток в среднем за период 1933...1953 гг. составляет: для р. Тобол – с. Гришенка 14 %, для р. Тобол – г. Костанай 16 %, для р. Аят – с. Варваринка 10 %.

Приведенные в табл. 1...3 и на рис. 2 исправленные на величину распаханности водосборов значения годового стока р. Тобол – с. Гришенка, р. Тобол – г. Костанай и р. Аят – с. Варваринка могут быть использованы при выполнении гидрологических расчетов в условиях современной сельскохозяйственной деятельности в пределах речных водосборов. Ис-

пользование этих данных совместно с результатами последующих наблюдений после освоения целинных и залежных земель позволит устранить неоднородность рядов годового стока и более надежно определить их статистические характеристики.

В заключении следует отметить, что введение понятия по действующей площади водосбора ( $F_{\text{отн.}}$ ) позволяет расширить использование выражения (1), для оценки влияния сельскохозяйственного освоения поверхности речных бассейнов на водные ресурсы равнинных регионов Казахстана и засушливых районов юго-восточной части Европейской территории России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айтымова Б.Б., Калибаева А.Т. Оценка влияния агротехнических мероприятий на сток основных рек Ишимского водохозяйственного бассейна. // Гидрометеорология и экология. – 2007. – № 1. – С. 90 - 92.
2. Заводчиков А.Б. Опыт расчета гидрографов весенних половодий по генетической формуле стока. // Труды ГГИ. – 1965. – Вып. 127. – С. 158 - 173.
3. Методические рекомендации по оценке и учету влияния агролесомелиоративных мероприятий на годовой сток в гидрологических расчетах. – Л: Гидрометеоздат, 1976. – С. 67 - 71.
4. Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования. – Л: Гидрометеоздат, 1986. – С. 71 - 72.
5. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. – Вып. 2. Кустанайская область Казахской ССР. – Л: Гидрометеоздат, 1959. – С. 154 - 156.
6. Разработать метод прогноза весеннего притока воды к каскаду Тобольских водохранилищ: Отчет о НИР/КазНИГМИ, № ГР 01.9.10029073 – Алматы, 1993. – С. 43 - 46.

РГП «Казгидромет», г. Алматы

#### **ТОБЫЛ-ТОРҒАЙ СУШАРУАШЫЛЫҚ АЛҚАБЫНЫҢ СОЛТҮСТІК БӨЛЕГІНДЕГІ НЕГІЗГІ ӨЗЕНДЕРДІҢ СУ ЖИНАУ ӘСІРІНЕ, АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ АҒЫНЫҢ ИГЕРУІН АҢЫҚТАУ БАҒАСЫ**

Геогр. ғылымд. канд. В.В. Голубцов  
Б.Б. Айтымова  
А.Т. Калибаева  
А.А. Белгожаева

*Тобыл өзенінің ағынына ауылшаруашылық су жинауының игеруіне әсер ететін аңықтау бағасы усынылған. Әсіресе қуаңшылық жылда, өзендердің су жинауын айтарлықтай игеру, жылдық ағынның анағұрлым қысқартылатыны көрсетілген. Алынған нәтижелер арқылы жылдық ағын қатарының бір қалыпсыздығын жоюға қолданылады.*