

## ЛИТЕРАТУРА

1. Керженцев Н. И. Леса Тюменской области. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954. 52 с.
2. Бескрестнова Г. А. Растительность островных боров Западной Сибири // Труды по лесному хоз-ву Сибири. Вып. 2. Новосибирск, 1955.
3. Крылов Г. В. Леса Западной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 256 с.
4. Крылов Г. В., Салатова Н. Г. Леса Западной Сибири. Новосибирск: Новосибирское областное гос. изд-во, 1950. 176 с.
5. Максимов В. А. Сосняки Притоболья // Лесной журнал. 1962. № 5.
6. Старцев Г. К., Шемякина В. А. Особенности структуры склоновых лесостепных ландшафтов Тоболо-Ишимского междуречья // Науч. тр. Тюменского госуниверситета, 1980. Сб. 72. С. 39–46.
7. Таран Х. В. Сосновые леса Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1973. С. 281–291.
8. Фрейберг И. А. Лесорастительные условия лесостепного Зауралья // Лесоведение. 1987. № 5. С. 3–10.
9. Шкуратенко З. В. Тюменская лесостепь // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1970. № 6. С. 52–56.
10. Вегерин А. М. Комиссаровский бор // Тр. Ин-та экологии растений и животных Уральского фил. АН СССР. 1967. Вып. 53. С. 181–205.
11. Бакулин В. В., Козин В. В. География Тюменской области. Екатеринбург: Ср.-Уральск. кн. изд-во, 1996. 240 с.
12. Лазуков Г. И., Чочиа Н. Г., Спасский Н. Я. Основы геоморфологии. Л.: Изд-во Ленингр. горного ин-та, 1979. 40 с.
13. Мильков Ф. Н. Ландшафтная география и вопросы практики. М.: Мысль, 1966. 256 с.
14. Мильков Ф. Н. Ландшафтная сфера Земли. М.: Мысль, 1970. 207 с.
15. Чижов Б. Е. Биоморфологическая характеристика травянистых растений вырубок подзоны сосново-березовых лесов Тюменской области // Сб. науч. тр. Тюменского госуниверситета. 1981. Сб. 82. Растительный покров Тюменской области. С. 70–91.
16. Чижов Б. Е. Сезонное развитие травяного покрова сплошных вырубок подзоны сосново-березовых лесов Тюменской области // Науч. тр. Тюменского госуниверситета. 1976. Сб. 11. Доминанты растительных сообществ лесостепи Тюменской области. Вып. 1. С. 93–103.

*Владимир Матвеевич КАЛИНИН —  
заведующий кафедрой экологического  
мониторинга и земледования  
эколого-географического факультета,  
доктор географических наук, профессор,  
Наталья Юрьевна СВИСТОВА —  
учитель географии средней школы  
г. Нефтеюганска*

УДК 556.13

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ ПО ТЕРРИТОРИИ МАЛОГО ВОДОСБОРА И ЕГО АНТРОПОГЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ**

**АННОТАЦИЯ.** Реализована идея расчета суммарного испарения с различных угодий речного водосбора на основе ландшафтно-гидрологического метода. Получена удовлетворительная сходимость результатов по отдель-

ным угодьям. Показаны более широкие возможности ландшафтно-гидрологического подхода.

*The idea of calculation of evapotranspiration from different landscapes of the rivers' watersheds on the basis of the landscape-hydrology method is revealed. The good coincidence of the results for some landscapes is obtained. Broader opportunities of landscape-hydrology method application are demonstrated.*

### Введение

Антропогенные преобразования ландшафтов в первую очередь оказывают интенсивное воздействие на гидрологический цикл малых водосборов. Это связано с тем, что измененные территории здесь могут охватывать до 100% общей площади малого бассейна, в то время как для средних и больших рек доля хозяйственного освоения, как правило, не превышает несколько десятков процентов, а чаще значительно меньше. При оценке антропогенных изменений элементов водного баланса исследователи, в основном, оперируют стоком в замыкающем створе реки и осредненными показателями воднобалансовых элементов в целом по водосбору [1-2, 4, 6-7, 9 и др.]. В то же время следует подчеркнуть, что любой речной бассейн представляет собой совокупность достаточно неоднородных как по условиям формирования, так и по величине значений стока, осадков и суммарного испарения с локальных участков водосбора. Поэтому количественная характеристика распределения основных воднобалансовых элементов в пределах водосбора является не только необходимым этапом дальнейшего развития гидрологии, но и открывает большие перспективы, особенно применительно к решению экологических задач.

### Материалы и методы

В основу методики определения дифференциации основных воднобалансовых элементов в пределах малого водосбора положен (географо) ландшафтно-гидрологический подход. Согласно основной концепции этого метода каждый речной водосбор может быть представлен рядом стокоформирующих комплексов (СФК). При этом СФК определяется как часть речного бассейна, содержащая совокупность природных компонентов, характеризующихся относительной однородностью и определяющих параметры гидрологического цикла на этой территории.

С целью реализации ландшафтно-гидрологического подхода для определения дифференциации стока внутри малого водосбора была разработана математическая модель, основные положения которой приведены в работе [3]. Согласно этой публикации определяющими расчетными уравнениями выступают следующие выражения:

$$\eta_c = \frac{a}{\sqrt[3]{1 + \left( b \frac{W_{cp}}{MG} \frac{PB}{PB} \right)^{3m}}}, \quad (1)$$

$$\eta_6 = a - \frac{a - \eta_c}{\sqrt[3]{1 + (3,7h/h_{cp})^{-5}}}, \quad (2)$$

где  $\eta_c$ ,  $\eta_6$  — коэффициенты весеннего стока суходольных и заболоченных СФК;  $a$  — параметр, характеризующий поверхностную емкость СФК;  $m$ ,  $b$  — параметры, зависящие от глубины промерзания почв;  $W_{cp}$  — сред-

ние за период весеннего половодья влагозапасы активного слоя почвы; ПВ, МГ — влагозапасы того же слоя при полной влагоемкости и максимальной гигроскопичности;  $h$  — глубина залегания грунтовых вод на заболоченных СФК в период весеннего половодья;  $h_{кр}$  — критическая глубина залегания грунтовых вод, при которой прекращается их заметное влияние на влагозапасы активного слоя почв.

Разработаны расчетные формулы определения числовых параметров, входящих в уравнения (1-2), которые также приведены в работе [3]. Здесь же предлагаются картографические приемы выделения СФК и определения количественных характеристик прямых и косвенных факторов формирования стока весеннего половодья. На основании указанной конкретной версии ландшафтно-гидрологического метода были выполнены массовые расчеты по 11 малым водосборам, расположенным в подзоне южной тайги, подтайги и лесостепи Восточного Зауралья [3].

Представляется, что предложенный в работе [3] метод позволяет определять не только значения стока, но и выполнить подробную количественную характеристику суммарного испарения с различных подстилающих поверхностей малого водосбора.

В качестве модельного бассейна для реализации идеи был выбран водосбор реки Бегила, левого притока р. Ук, впадающей в Тобол справа. Длина реки 22,5 км, площадь водосбора до замыкающего гидрометрического створа в д. Яковлево составляет 210 км<sup>2</sup> [3].

Река протекает в лесостепной зоне. Поверхность бассейна представлена пологоволнистым рельефом с западинами и лощинами. Водосбор в значительной степени освоен в сельскохозяйственном отношении.

В процессе ландшафтно-гидрологического анализа водосбора, приведенного в работе [3], была построена серия специальных карт и выделено 14 стокоформирующих комплексов (СФК) (рис. 1), с каждого из которых рассчитаны значения слоя весеннего стока (табл. 1). Годовая величина стока получена на основе корреляционной связи с весенним половодьем.

Для определения годового суммарного испарения с поверхности СФК необходимо рассчитать слой годовых осадков, чтобы затем по разнице осадков и стока вычислить среднегодовую величину испарения. На первый взгляд достаточно простая задача определения годовых осадков при ее реализации встречает определенные трудности. Прежде всего, необходимо принять, что количество жидких осадков для всех СФК одинаково. Различия за счет осадков возникают за счет снегонакопления.

По данным ближайшей метеостанции Ялutorовска была определена величина жидких осадков как их сумма за теплый период (апрель — октябрь), исправленных на недоучет осадкомерными приборами. В апреле и октябре могут выпадать твердые осадки, но они, как правило, тают сразу или спустя некоторое время. Метелевого переноса снега в это время почти не бывает.

К полученной величине жидких осадков необходимо прибавить запасы воды в снеге на конец зимы для каждого СФК, а также испарение со снежного покрова, которое можно рассчитать по формуле П. П. Кузина [5]

$$E_{сн} = 0,53nd^{0,75} \quad (3)$$

где  $n$  — число дней в расчетном периоде;  $d$  — среднесуточный дефицит влажности воздуха.

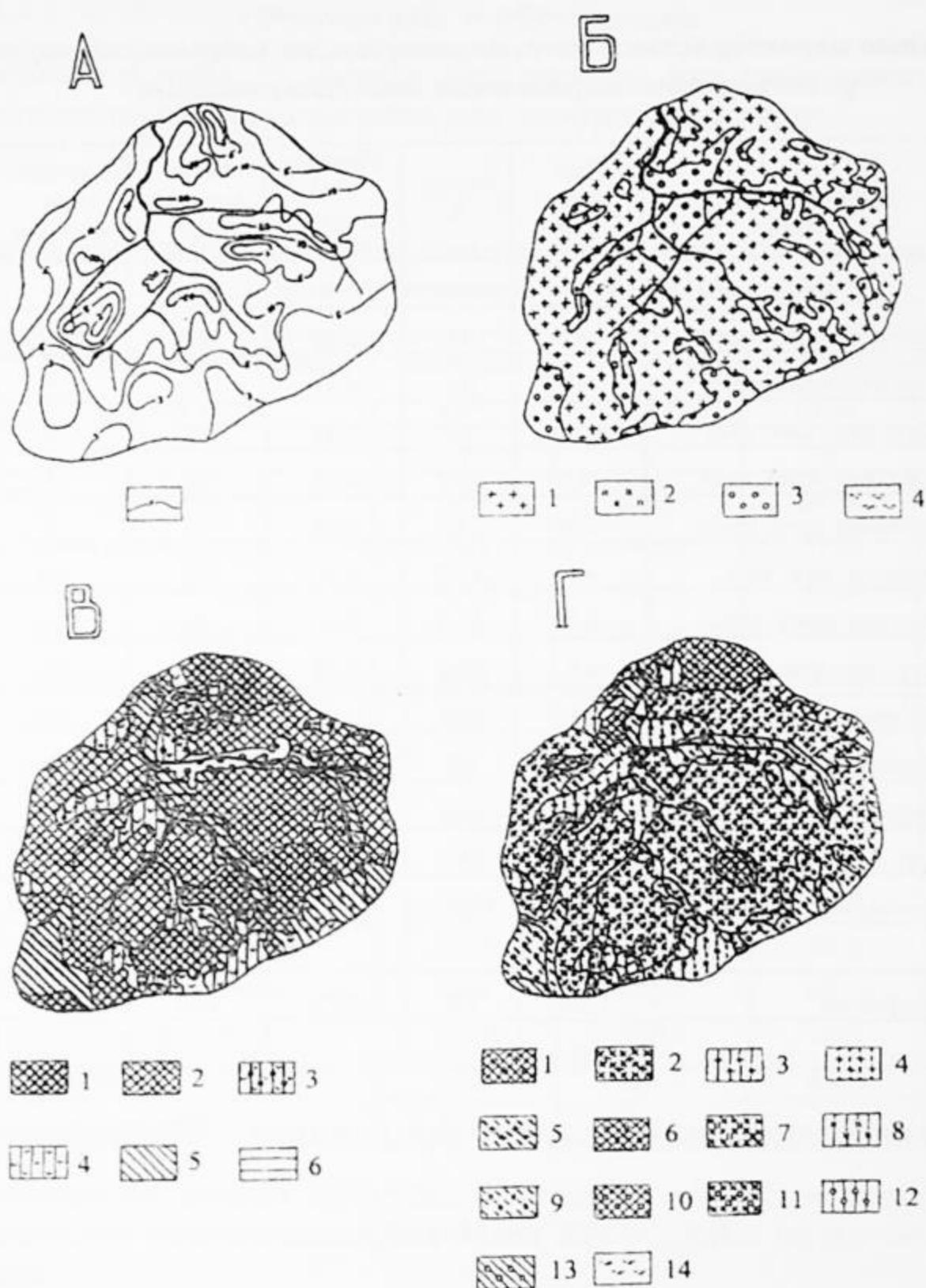


Рис. 1. Серия карт, определяющая количественные характеристики СФК водосбора р. Бегила

ЛЕГЕНДА к рис. 1

А — изолинии уклонов.

Б — землепользование на водосборе: 1-пашня; 2-луг; 3-лес; 4-болото.

В — почвы: 1-черноземные тяжелосуглинистые; 2-черноземные среднесуглинистые; 3-серые лесные тяжелосуглинистые; 4-серые лесные среднесуглинистые; 5-луговые среднесуглинистые; 6-торфяно-болотные.

Г — стокоформирующие комплексы: 1-пашня на черноземных тяжелосуглинистых почвах; 2- пашня на черноземных среднесуглинистых почвах; 3-пашня на серых лесных тяжелосуглинистых почвах; 4-пашня на серых лесных среднесуглинистых почвах; 5-пашня на луговых среднесуглинистых почвах; 6-луг суходольный на черноземных тяжелосуглинистых почвах; 7- луг суходольный на черноземных среднесуглинистых почвах; 8- луг суходольный на серых лесных тяжелосуглинистых почвах; 9- луг суходольный на луговых среднесуглинистых почвах; 10-лес на черноземных тяжелосуглинистых почвах; 11-лес на черноземных среднесуглинистых почвах; 12- лес на серых лесных тяжелосуглинистых почвах; 13-лес на луговых среднесуглинистых почвах; 14-болото.

Таблица 1  
 Качественные характеристики стокоформирующих комплексов водосбора  
 р. Бегила при современном землепользовании

Угодье	Тип и мех. состав почв	Площадь, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Показатель увлажнения	Снегозапасы, мм	Глубина промерз., м	Весенний сток, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
Пашня	Черноз. тяж. сугл.	16,0	8,6	0,42	85	1,5	51,7
	Черноз. сред. сугл.	75,5	9,1	0,44	85	1,5	36,1
	Сер. лес. тяж. сугл.	6,75	9,7	0,41	85	1,5	57,0
	Сер. лес. сред. сугл.	14,7	11,7	0,35	85	1,5	20,5
	Луговые сред. сугл.	13,0	14,7	0,44	85	1,5	37,1
Луг суходольный	Черноз. тяж. сугл.	4,0	15,0	0,42	85	1,08	70,0
	Черноз. сред. сугл.	8,0	11,3	0,44	85	1,08	59,1
	Сер. лес. тяж. сугл.	9,5	20,0	0,44	85	1,08	55,9
	Луговые сред. сугл.	2,5	20,0	0,35	85	1,08	37,6
Лес	Черноз. тяж. сугл.	10,5	7,5	0,65	110	0,83	70,6
	Черноз. сред. сугл.	28,0	19,8	0,66	110	0,83	62,2
	Сер. лес. тяж. сугл.	9,0	25,0	0,61	110	0,83	27,3
	Луговые сред. сугл.	11,8	6,5	0,66	110	0,83	33,8
Болото целин.	Торфяные	1,25	1,0	0,73	110	0,45	50,6
Итого		210					42,2

Таким образом, количество осадков для каждого СФК определяется по выражению

$$KX_{\text{год}} = KX_{\text{ж}} + H + E_{\text{сн}} \quad (4)$$

где  $KX_{\text{год}}$  — годовые осадки для каждого СФК;  $H$  — запас воды в снеге на конец зимы (из табл. 1).

Для расчетов по формуле (4) использованы следующие величины  $KX_{\text{ж}} = 385$  мм,  $E_{\text{сн}} = 52,4$  мм.

Для расчета приходной части водного баланса на болоте необходимо кроме осадков учитывать приток воды с внешнего водосбора. С этой целью определена площадь водосбора болота, которая оказалась равной 3 км<sup>2</sup>, и вычислен объем стока с этой территории. Затем этот объем был отнесен к площади болота. Дополнительный слой увлажнения получился равным 120 мм.

Как указано в работе [3], зависимость годового стока от величины весеннего для реки Бегила определяется уравнением

$$Y_{\text{год}} = Y_{\text{вес}} + 15,9 \quad (5)$$

Выполненные по формуле (3-5) расчеты годовых величин осадков, стока и испарения, как разницы между осадками и стоком, представлены в таблице 2.

**Результаты и обсуждение**

Полученные в табл. 2 данные показывают, что суммарное испарение имеет значительную дифференциацию внутри водосбора.

Таблица 2

**Элементы гидрологического цикла стокоформирующих комплексов водосбора р. Бегила при современном землепользовании**

Угодье	Тип и механический состав почв	Площадь, км <sup>2</sup>	Годовые значения, мм		
			осадки	сток	испарение
1	2	3	4	5	6
Пашня	Чернозем тяж. сугл.	16,0	495,4	69,6	425,8
	Чернозем сред. сугл.	75,5	495,4	52,0	443,4
	Сер. лес. тяж. сугл.	6,75	495,4	72,9	422,5
	Сер. лес. сред. сугл.	14,7	495,4	36,4	459,0
	Луговые сред. сугл.	13,0	495,4	53,0	442,4
Луг сухо- доль- ный	Чернозем тяж. сугл.	4,0	495,4	85,9	409,5
	Чернозем сред. сугл.	8,0	495,4	75,0	420,4
	Сер. лес. тяж. сугл.	9,5	495,4	71,8	423,6
	Луговые сред. сугл.	2,5	495,4	53,5	441,9
Лес	Чернозем тяж. сугл.	10,5	520,4	86,5	433,9
	Чернозем сред. сугл.	28,0	520,4	78,1	442,3
	Сер. лес. тяж. сугл.	9,0	520,4	43,2	477,2
	Луговые сред. сугл.	11,75	520,4	49,7	420,7
Болото	Торфяные	1,25	640,4	66,5	573,9
Водосбор		210	504	60	444

Наибольшие величины присущи болотным и лесным стокоформирующим комплексам. Наименьшие значения отмечаются на луговых комплексах и пашне.

Для оценки возможностей рассмотренного метода был выполнен сравнительный анализ величин средневзвешенного испарения с пашни, луга, леса и болота и значений, рассчитанных с использованием «Рекомендаций по расчету испарения с поверхности суши» [8].

Прежде всего, с карты изолиний (приложение 1 в работе [8]) была снята среднегодовая величина суммарного испарения для водосбора р. Бегила. Она оказалась равной 450 мм, что достаточно близко соответствует значению табл. 2 — 444 мм.

Испарение с различных угодий, рассчитанное по двум методам, представлено в табл. 3.

Таблица 3

**Годовое суммарное испарение (мм) с угодий водосбора р. Бегила**

Метод расчета	Пашня	Луг	Лес	Болото
Ландшафтно-гидрологич. метод	442	422	452	574
Рекомендации [8]	446	456	490	561

Достаточно близкое совпадение отмечается для пашни. Для леса и болота расчеты по «Рекомендациям...» [8] являются в определенной степени условными. Дело в том, что карта среднемноголетнего испарения с леса, представленная в «Рекомендациях...», [8] построена только для Европейской части СССР. Для Азиатской части такой карты в «Рекомендациях...» нет. Поэтому было определено соотношение испарения с леса и суши для Европейской части СССР (по 10 равномерно расположенным по территории ЕТС точкам). Оно оказалось равным 1,09 и этот коэффициент был перенесен на модельный водосбор. По-видимому, он завышен, так как для водосбора р. Бегила соотношение испарения с леса и суши равно 1,02.

Для низинных болот Западной Сибири карта среднемноголетнего испарения в «Рекомендациях...» также отсутствует. Есть карта для верховых болот. Было определено соотношение испарения с верховых и низинных болот для Европейской части страны и этот коэффициент использован для определения испарения с низинного болота на водосборе р. Бегила. Оно оказалось на 13 мм ниже, чем рассчитанное по ландшафтно-гидрологическому методу.

Испарение с луга также невозможно определить точно, так как графики, по которым идет расчет, не содержат предельных значений месячного испарения и их приходится экстраполировать.

Таким образом, несмотря на приемлемую сходимость методов по величине испарения с пашни, применение ландшафтно-гидрологического подхода все-таки предпочтительнее. Это связано с тем, что расчеты испарения по «Рекомендациям...» [8] затруднены и мало обоснованы, т. к. не содержат необходимых данных для территории Азиатской России вообще и для Западной Сибири в частности. Кроме того, ландшафтно-гидрологический метод позволяет дифференцировать испарение внутри каждого угодья, в зависимости от генетического типа и механического состава почв.

Для оценки влияния антропогенных преобразований в бассейне на суммарное испарение были приняты два предельных случая: полная распашка водосбора и полная залесенность. Как показывают расчеты, представленные в таблицах 4 и 5, в целом суммарное испарение с полностью залесенного водосбора больше по сравнению с полностью распаханного на 14 мм или 3,2%. Таким образом, радикальная перестройка ландшафтов в целом по водосбору не вызывает столь же значительных изменений в величине суммарного испарения. В то же время, если обратиться к данным табл. 2, по отдельным ландшафтным контурам разница более существенна и может достигать 16,5%.

Таблица 4

Элементы гидрологического цикла стокоформирующих комплексов водосбора р. Бегила при его полной возможной распашке

Угодье	Площадь, км <sup>2</sup>	Годовые значения, мм		
		осадки	сток	испарение
Пашня	208,75	495,4	55,7	439,7
Болото целинное	1,25	640,4	66,5	573,9
Итого	210	496	56	440

Таблица 5

Элементы гидрологического цикла стокоформирующих комплексов водосбора р. Бегила при его полной возможной залесенности

Угодье	Площадь, км <sup>2</sup>	Годовые значения, мм		
		осадки	сток	испарение
Лес	208,75	520,4	66,9	453,5
Болото целинное	1,25	640,4	66,5	573,9
Итого	210	521	67	454

### ВЫВОДЫ

1. Метод ландшафтно-гидрологического анализа применим не только для дифференциации стока внутри малого водосбора, но и расчета суммарного испарения с различных подстилающих поверхностей.

2. Модельные расчеты, выполненные для водосбора малой реки Бегила (бассейн Тобола), показали существенное изменение испарения внутри бассейна. Наибольшие величины (до 470 мм) характерны для лесных комплексов на серых лесных и луговых почвах, а наименьшие для луга суходольного на черноземных тяжелосуглинистых почвах (410 мм). Испарение с болота на 100–150 мм превышает таковое с суходольных земель.

3. Выполненное сравнение расчетов по ландшафтно-гидрологическому методу и «Рекомендациям по расчету испарения с поверхности суши» показало, что для леса, болота и луга использование «Рекомендаций...» затруднено из-за отсутствия соответствующих карт для территории Азиатской России. Поэтому приближенно рассчитанные величины по «Рекомендациям...» расходятся с полученными ландшафтно-гидрологическим методом. Для пашни и в целом всего водосбора сходимость удовлетворительная. Поэтому ландшафтно-гидрологический подход является единственно корректным методом, позволяющим рассчитать годовое испарение с различных подстилающих поверхностей на территории Западной Сибири.

4. Кардинальные антропогенные изменения ландшафтных комплексов модельного водосбора не приводят к существенным изменениям величины суммарного испарения со всего бассейна. Смена полной залесенности на полную распашку вызывает снижение испарения всего лишь на 3,2%.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Булавко А. Г. Водный баланс речных водосборов. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 304 с.
2. Водный баланс СССР и его преобразование / Под ред. М. И. Львовича. М.: Наука, 1969. 338 с.
3. Калинин В. М., Ларин С. И., Романова И. М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия. Тюмень: Изд-во Тюменского ун-та, 1998. 220 с.
4. Коронкевич М. И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 204 с.
5. Кузин П. П. О расчетном и экспериментальном способах определения испарения с поверхности снежного покрова // Труды ЗакНИГМИ. Вып. 58 (64). 1974. С. 25-43.
6. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 168 с.
7. Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 120 с.
8. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 96 с.
9. Тюрк Л. Баланс почвенной влаги. Л.: Гидрометеиздат, 1958. 227 с.