

УДК 502/504:556.1:631.95

Т. Ю. ГОЛУБАШ, Н. И. СЕНЦОВА

Институт водных проблем РАН

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА АГРОЛАНДШАФТА КАК ОСНОВА РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ*

Рассматриваются особенности формирования основных компонентов водного баланса агроландшафтов лесостепной зоны на основе анализа многолетних рядов гидрологических и метеорологических наблюдений и проведения численных экспериментов. В работе приведены количественные оценки изменения суммарного испарения и почвенных влагозапасов в зоне активного водообмена в результате замены естественного ландшафта на агроландшафт (на примере водосборов балок Каменной Степи).

Агроландшафт, водный баланс, суммарное испарение, влагозапасы почвогрунтов, Каменная Степь.

The singularity of formation of the main water balance components of the agricultural landscapes in forest-steppe zone are considered on the basis of the analysis of long-term hydrological and meteorological series and fulfillment of numerical experiments. The work is considering quantitative assessments of the total evaporation and soil water stores in the zone of active water exchange as a consequence of transformation of the natural landscape into agricultural landscape (on the example of water collection basins of Stone (Kamennaya) Steppe).

Agricultural landscape, water balance, total evaporation, water stores of soil-grounds, Stone (Kamennaya) Steppe.

Состояние водно-земельных ресурсов агроландшафтов зависит от комплекса природных и антропогенных факторов. Их различное сочетание может привести к неоднозначным и часто непредсказуемым результатам: одни процессы могут сглаживаться, а другие, напротив, обостряться. Так, например, сельскохозяйственное использование земель, с одной стороны, служит для получения продуктов жизнедеятельности человека, а с другой стороны, нарушает естественное состояние ландшафтов (в частности, происходит уменьшение видового состава флоры и фауны, снижение почвенного плодородия и пр.). Если снижение урожая и потеря плодородия почв имеет локальный характер, то изменение состояния водоисточников, включая грунтовые воды, в результате нерационального исполь-

зования водных ресурсов может носить масштабный характер — от бассейнов временных водотоков до крупных речных водосборов. Уменьшение возможных негативных последствий на водосборах возможно только за счет управления антропогенными факторами. Природные же воздействия носят неуправляемый характер. Целесообразно выделить роль отдельных внешних факторов в формировании водного режима агроландшафтов при изменяющихся условиях и оценить их с точки зрения качества и количества. С этой целью проведен анализ многолетних наблюдений водно-балансовой станции, гидрогеологического отряда, а также данных метеостанции, расположенных на территории Каменной Степи. В качестве исходной информации авторы использовали многолетние ряды наблюдений за водным режимом отдельных балок (поверхностным стоком, влагозапасами почвогрунтов, уровнем залегания

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 07-05-00121-а

грунтовых вод), метеорологическими показателями (температурой воздуха, атмосферными осадками, скоростью ветра, влажностью воздуха и актинометрическими характеристиками), фенологией и биометрическими характеристиками растительного покрова.

Рассматриваемый район является репрезентативным для лесостепной зоны Европейской России. Каменная Степь расположена в зоне недостаточного увлажнения — на северных склонах Калачской возвышенности в пределах водораздела рек Битюга и Хопра — левых притоков Дона. Рельеф равнинный, с отметками 120...130 м абс. Вся территория Каменной Степи изрезана неглубокими балками и ложбинами с задерненными пологими склонами, местами заросшими кустарником. В балках устроены многочисленные (более 40) искусственные водоемы, мелкие из которых в летнее время пересыхают. Растительный покров представлен разнообразными видами (более 700). Здесь распространены деревья, кустарники, полукустарники, многолетние, двулетние и однолетние травы, а также мхи, лишайники и др. В связи с сельскохозяйственным освоением земель флора Каменной Степи, с одной стороны, обогащается новыми видами, а с другой — происходит ее обеднение. В конце XIX — начале XX вв. в Каменной Степи была создана система защитных лесонасаждений, которые периодически обновлялись и продолжают обновляться в настоящее время. За состоянием лесных полос и их воздействием на агроландшафты ведутся постоянные наблюдения. Занимаемая ими площадь в настоящее время составляет около 8 % от общей площади землепользования. Почвы на территории рассматриваемых балок — обыкновенные черноземы различного механического состава, суглинки (от легких до тяжелых). Большая часть территории занята легкосуглинистыми почвами (более 70 % территории). Содержание гумуса изменяется от 6 до 9...11 %, что

свидетельствует о высоком плодородии почв. Грунтовые воды на территории Каменной Степи залегают в основном на глубине 3...5 м от дневной поверхности. Климат Каменной Степи континентальный, с относительно холодной зимой и жарким, нередко засушливым летом. Продолжительность вегетационного периода 192 дня [1, 2].

Для исследования пространственно-временных закономерностей формирования водного режима агроландшафта и оценки его изменения под влиянием природных и антропогенных факторов в качестве элементарных структурных единиц выбраны водосборы балок, имеющие естественные природные границы и показатели стока в замыкающем створе.

Авторы проанализировали изменение климатических факторов, гидроэкологических показателей (поверхностного стока, уровня грунтовых вод, влагозапасов в зоне активного водообмена, воднофизических свойств почвогрунтов и др.) и структуры агроландшафта балок. Рассматривалась динамика указанных характеристик за многолетний период, их направленность и отклонения от средних величин по различным временным интервалам.

Выделение групп лет с повышенными (по сравнению со средним уровнем) и пониженными показателями метеорологических факторов проводили на основе построения и анализа разностных интегральных кривых. Они были построены для температуры воздуха, атмосферных осадков и скорости ветра. С целью выявления трендов в колебаниях метеорологических характеристик провели статистический анализ временных рядов. Степень значимости трендов оценивали на основе ранговой корреляции. В качестве критерия значимости использовали коэффициент Спирмена.

Изменение компонентов водного баланса осуществлено на основе построения имитационной модели, описывающей взаимодействие между приземным слоем атмосферы, растительным и почвенным покровом, почвогрунтами зоны аэрации и грунтовыми водами

[3, 4]. Главными процессами при этом являются суммарное испарение [5], инфильтрация и капиллярное подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами. При расчете компонентов водного баланса учитываются показатели гидрометеорологических факторов, вид почвенного покрова, его водно-физические свойства, гидрогеологические условия (глубина залегания грунтовых вод), вид растительного покрова, его изменение в течение вегетационного периода.

Анализ динамики изменения характеристик гидроэкологического состояния территории Каменной Степи и метеорологических элементов за период с 1950 по 1998 гг. показал, что в колебаниях метеорологических элементов визуально можно отметить некоторые однонаправленные изменения. При этом динамика показателей гидроэкологического состояния территории имеет неоднозначную направленность. Так, до 1990 г. поверхностный сток и влагозапасы зоны аэрации понижались. Однако с начала 90-х гг., когда произошел резкий спад антропогенной нагрузки, наблюдается их увеличение.

Сравнительный анализ среднемноголетних величин годового, весеннего и межлетнего слоя стока на водосборах балок Каменной Степи за разные временные периоды показал, что среднегодовой слой стока, составлявший до конца 80-х гг. прошлого века 29,8 мм, в последнее десятилетие увеличился почти на 30 % по сравнению со всем предыдущим периодом наблюдений. Весенний поверхностный сток при этом уменьшился на 20 %, а сток в зимнюю межень увеличился более чем в 4 раза (с 3,8 до 16,6 мм), т.е. в последнее десятилетие наблюдается внутригодовое перераспределение стока со значительным усилением его роли в холодное время года. Эти изменения могут быть связаны как с влиянием хозяйственной деятельности, так и с колебаниями погодных условий. В частности, наблюдаемое повышение температуры, особенно в холодный период, приводит к час-

тым зимним оттепелям. В результате периодического оттаивания почв и инфильтрации атмосферных осадков снегозапасы уменьшаются и весенний поверхностный сток понижается [6].

Оценка многолетних изменений климатических факторов проведена для температуры приземного слоя воздуха и сумм атмосферных осадков по их годовым значениям, а также за теплый и холодный периоды. Среднегодовое количество атмосферных осадков за инструментальный период (1893–2001) составило 450 мм, при этом их основное количество выпадало в теплый период — 319 мм. Изменчивость годовых сумм атмосферных осадков и осадков теплого периода невысокая — соответственно 0,20 и 0,24. Изменчивость атмосферных осадков за холодный период выше — 0,36. Средняя годовая температура воздуха за этот же период равна 5,7 °С, а средняя температура теплого и холодного периодов — соответственно 13,9 и –3,9 °С. Коэффициент вариации годовых значений температуры воздуха составил 0,19, а за теплый период — 0,08. В холодный период изменчивость температуры воздуха довольно значительная — коэффициент вариации равен 0,35.

Анализ разностных интегральных кривых, построенных для среднегодовых значений температуры воздуха и ее средних значений за теплый и холодный периоды года, а также сумм атмосферных осадков за год и теплый и холодный периоды с 1893 по 2001 гг., позволил выделить периоды повышенных и пониженных значений. При этом точки перелома всех кривых совпадают и находятся примерно на уровне 1950 г. До этого момента от начала наблюдений средние значения температуры воздуха понижались. С 1950-х гг. наблюдается обратная тенденция: температура воздуха повышается. Выпадение атмосферных осадков за теплый период до середины XX в. увеличивается. Количество же осадков в холодное время года уменьшается.

После 1950 г. осадки за год и за теплый период понижаются по сравнению с первой половиной XX в., а за холодный период повышаются. С восьмидесятых годов наблюдается их рост как за год, так и за теплый и холодный периоды.

Анализ средних величин рассматриваемых метеорологических элементов за отдельные периоды показывает, что при повышении температуры увеличивается количество атмосферных осадков за год и за холодный период (таблица).

Изменение средних значений температуры воздуха, атмосферных осадков и уровня грунтовых вод на территории Каменной Степи за отдельные периоды

Показатель	Период, лет			
	1893–1998	1893–1950	1951–1998	1988–1998
Средняя температура воздуха, °С:				
за год	5,6	5,3	5,9	6,6
за теплый период	13,9	13,7	14,1	14,4
за холодный период	-6,1	-6,5	-5,5	-4,4
Сумма атмосферных осадков, мм:				
за год	447,0	438,5	457,2	507,7
за теплый период	318,5	331,6	303,1	341,8
за холодный период	128,6	107,2	153,6	165,7
Уровень грунтовых вод, м	5,54	6,07	5,13	3,32

Средние значения годовой температуры воздуха за период с 1951 по 1998 гг. выше на 0,6 °С по сравнению с предыдущим периодом, а увеличение годовых сумм атмосферных осадков составляло около 20 мм. При этом увеличение осадков за год происходило за счет холодного периода (примерно на 45 мм), в теплое же время года количество атмосферных осадков уменьшилось почти на 30 мм. Следует отметить, что по сравнению со всем периодом наблюдений годовая температура воздуха за его вторую половину выросла лишь на 0,3 °С, за теплый период — на 0,2 °С, в то время как за холодный — на 0,6 °С. В свою очередь, среднее количество атмосферных осадков за год после 1950 г. по сравнению со средним значением за весь период наблюдений увеличилось на 10 мм, в холодный период — на 25 мм, а в теплое время года уменьшилось на 15 мм. Особенно сильно это сказалось в холодный период — температура воздуха увеличилась на 1,5 °С, а количество выпадающих осадков — на 37,1 мм. Следует отметить, что средние значения всех величин за 1988–1998 гг. были выше среднемноголетних не только за весь период на-

блюдений, но и средних за период повышенных значений температур воздуха и атмосферных осадков (1951–1998).

Увеличение атмосферных осадков и температуры, особенно в холодный период, а соответственно и наличие зимних оттепелей привело к подъему уровня грунтовых вод, который является интегральным показателем водного режима. Как видно из таблицы, уровень грунтовых вод (по данным колодца №1) в XX в. постоянно возрастал, а в последние десятилетия он поднялся почти в 2 раза и находится примерно на трехметровой отметке от земной поверхности. В отдельные периоды года грунтовые воды достигали корнеобитаемой зоны. Анализ материалов наблюдений Каменностепного гидрогеологического отряда за 1998 г. за водосбором балок показал, что на многих земельных участках в весенне-летний период уровень грунтовых вод поднимался выше 2 м от земной поверхности, а на некоторых участках он превышал метровую отметку. Так, например, в 1998 г. на балке Травопольной уровень грунтовых вод поднимался до 2 м, а в июне на некоторых скважинах их уровень колебался около 1 м. По территории балки

Солонцы к концу весеннего периода грунтовые воды залежали на глубине от 3,7 до 1,7 м. На балках Степной и Хорольской грунтовые воды поднимались в корнеобитаемую зону — выше 1 м. Это вызвано увеличением атмосферных осадков, которые в сумме более чем на 100 мм превысили среднее многолетнее значение, что на 20 % больше годовой нормы. При этом их основное количество выпало в холодный период.

Статистический анализ временных рядов на выявление наличия трендов в колебаниях метеорологических характеристик показал определенные тенденции их изменений: скорость ветра понижается, температура воздуха повышается, количество атмосферных осадков увеличивается (особенно это заметно в холодное время года). При этом наибольшую статистическую значимость тренда имеет ряд скорости ветра — коэффициент ранговой корреляции равен 0,8, что подтверждает наличие отрицательного тренда за последние 100 лет. Тенденция к повышению температуры воздуха оказалась статистически незначимой (коэффициент ранговой корреляции меньше 0,3). Тенденция к увеличению количества выпадающих атмосферных осадков статистически значима только в холодный период (коэффициент в холодный период равен 0,5; в теплый — 0).

Влияние хозяйственной деятельности на землях сельскохозяйственного использования проявляется в замене естественных биоценозов на искусственные — агроценозы. В первую очередь это сказывается на изменении структуры, суммарном испарении и влагозапасах корнеобитаемого слоя почвы. Поэтому основное внимание авторы уделили исследованию этих характеристик. При расчете суммарного испарения рассматривали четыре вида растительного покрова: сельскохозяйственные культуры и многолетние травы, степную растительность, лесополосы (предполагалось, что лесополосы засажены лиственными деревьями). Поскольку авторам не были

известны площади, занимаемые отдельными сельскохозяйственными культурами (агроценозами), использовали среднестатистические значения изменения относительной площади листьев зерновых культур в течение вегетационного периода.

Анализ структуры угодий на территории шести балок Каменной Степи (1950–1985) показал следующее: от 60 и до 90 % площадей занимали сельскохозяйственные культуры. Например, на балке Травопольная их площади составляли 95 %, в последнее десятилетие они сократились до 45 % за счет увеличения посевов многолетних трав. Лесополосы занимали 6 %. На территории балки Степная площадь сельскохозяйственных угодий составляла 90 %, в отдельные годы снижаясь до 70...80 % за счет увеличения площади многолетних трав в севообороте до 20...30 %. Площадь лесополос увеличилась от 2 до 6 %. На балке Хорольская от 84 до 94 % площади было занято сельскохозяйственными культурами. С середины 70-х гг. больше половины территории занимали травы, площадь лесополос сократилась с 13 до 6 %. Балка Солонцы до середины 50-х гг. была занята травяной и древесно-кустарниковой растительностью. Впоследствии более 60 % было освоено под сельскохозяйственные культуры, многолетние травы почти полностью отсутствовали, а 35 % территории осталось под лесной растительностью. На балке Селекцентровская в 50-е гг. для выращивания сельскохозяйственных культур использовали 58 % площадей, с начала 60-х гг. — до 65 %, а в конце 70-х гг. — до 75 %. Доля многолетних трав была незначительной (около 2 %). Площадь под лесной и древесно-кустарниковой растительностью изменялась в соответствии с периодами освоения — от 40 до 35 %, и в конце 70-х гг. она уменьшилась до 22 %. Территория балки Высокая была освоена почти полностью. Сельскохозяйственные культуры занимали 95 % площади, лесополосы — 4 %. В разные

годы (1961, 1965, 1967) посевы многолетних трав занимали более 70 % территории.

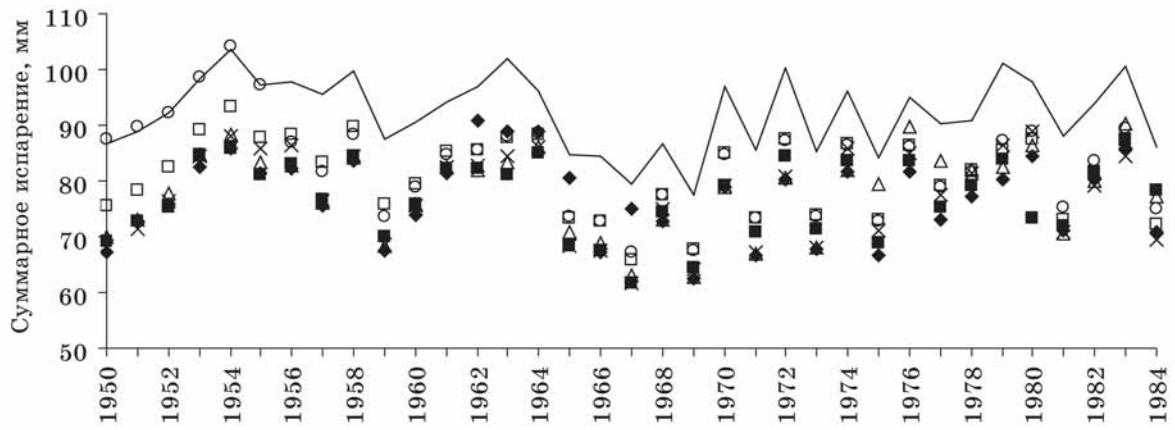
В соответствии со структурой использования земель (сельскохозяйственные угодья и многолетние травы, степная растительность, лесополосы) по годам за период 1950–1985 гг. на территории балок были рассчитаны средневзвешенные ежемесячные величины суммарного испарения — это суммарное испарение агроландшафта. За этот же период были рассчитаны величины суммарного испарения с балок (предполагалось, что их территория полностью занята естественной лесостепной растительностью). Полученные величины суммарного испарения агроландшафта для каждой из балок сравнивались с возможными значениями суммарного испарения степной и древесно-кустарниковой растительности, которой была занята территория Каменной Степи до ее сельскохозяйственного освоения. Это позволило оценить изменение суммарного испарения агроландшафта по сравнению с естественными условиями.

Как показывают результаты расчетов, средние величины суммарного испарения агроландшафта за теплый период по балкам составили 391...393 мм при коэффициенте вариации 0,11, а суммарное испарение естественной растительности — 401 мм при коэффициенте вариации 0,12.

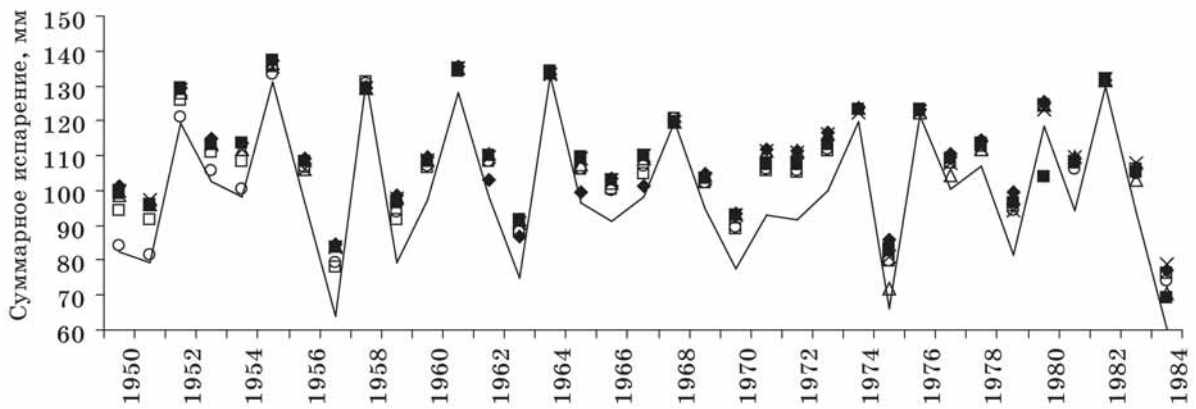
Наибольшие различия в абсолютных величинах суммарного испарения наблюдаются по месяцам вегетационного периода (рисунок). В начале теплого периода (апрель) суммарное испарение степной и древесно-кустарниковой растительности было на 10...25 % выше испарения агроландшафта. В мае, по мере роста температуры воздуха и усиления активности вегетации растений, особенно травяной растительности, суммарное испарение естественного лесостепного ландшафта превысило средневзвешенное испарение по балкам (испарение агроландшафта) более чем на 20 %. Эти различия менялись в зависимости от

структуры агроландшафта балок и характеристик тепло- и влагообеспеченности. С увеличением площадей, занятых многолетними травами и древесно-кустарниковой растительностью, они уменьшались. В более засушливые годы (1953, 1957, 1959, 1962 и др.) различия возрастали. В июне и июле (период активной вегетации большинства сельскохозяйственных культур) суммарное испарение превысило испарение лесостепи на 5...10...15 % (в зависимости от структуры использования земель). В августе (период массовой уборки основных сельскохозяйственных культур) значения суммарного испарения лесостепной растительности были больше величины суммарного испарения агроландшафта балок. Более значительным было превышение в засушливые годы (больше 30 %) и во влажные годы с пониженными значениями температуры вегетационного периода и испаряемости. В средние по метеоусловиям годы значения суммарного испарения агроландшафтов балок и степи были почти одинаковыми. В сентябре различия возрастали. В целом за теплый период суммарное испарение агроландшафтов балок почти полностью совпало с испарением естественной лесостепной растительности.

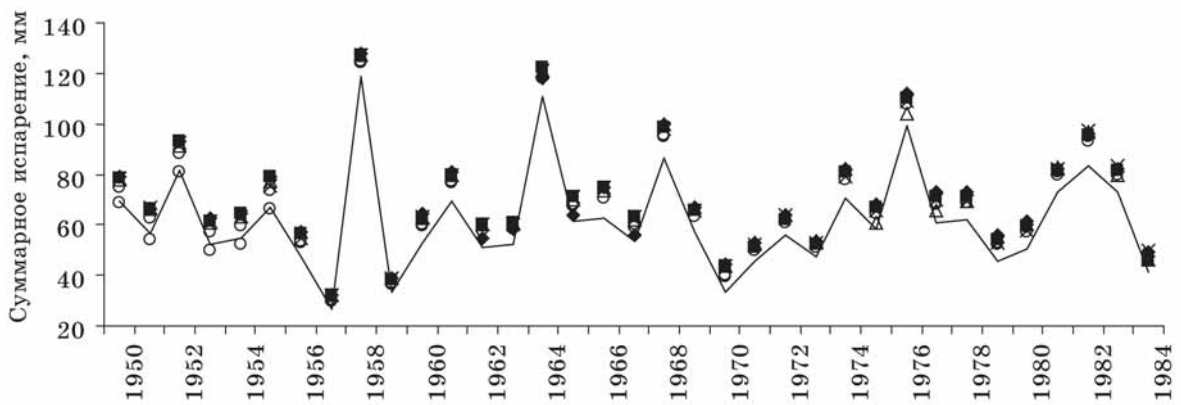
Анализ результатов расчета показал следующее: большую часть лет рассматриваемого периода величина запасов продуктивной влаги корнеобитаемого слоя почвы опускалась ниже критических значений, при которых растения начинают испытывать недостаток влаги (примерно с конца июня и до конца теплого периода, практически совпадающего с прекращением вегетации естественной степной и древесно-кустарниковой растительности). Только в 25 % случаев влажность корнеобитаемого слоя почвы в конце теплого периода восстанавливалась за счет осенних осадков и малых величин испарения до значений, превышающих критические. Влажность корнеобитаемого слоя почвы под сельскохозяйственными культурами опускалась ниже критических значений на



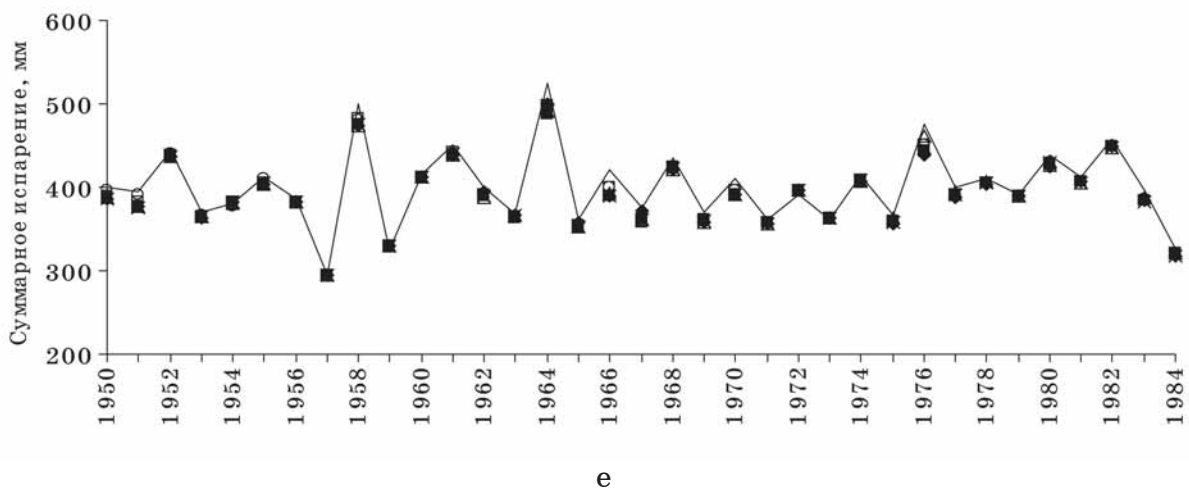
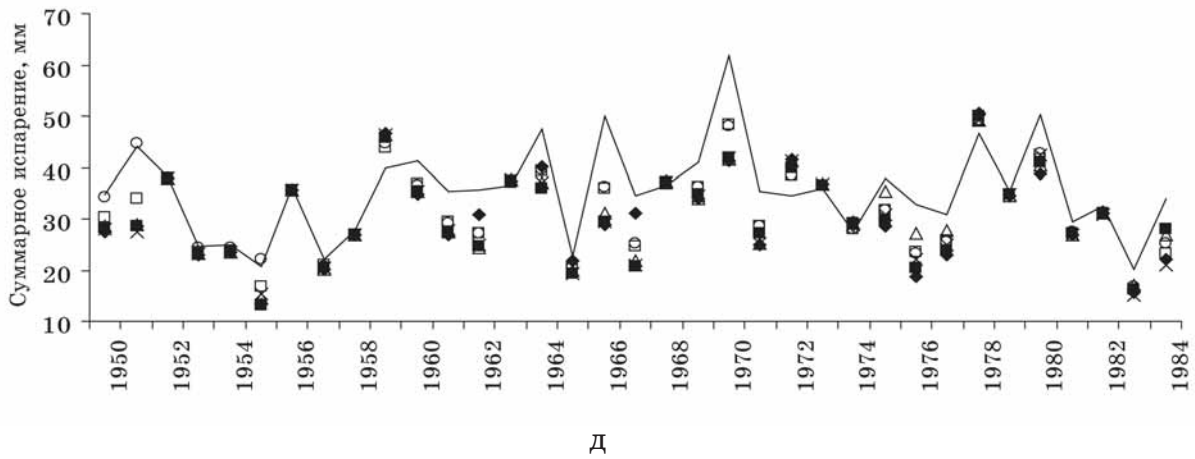
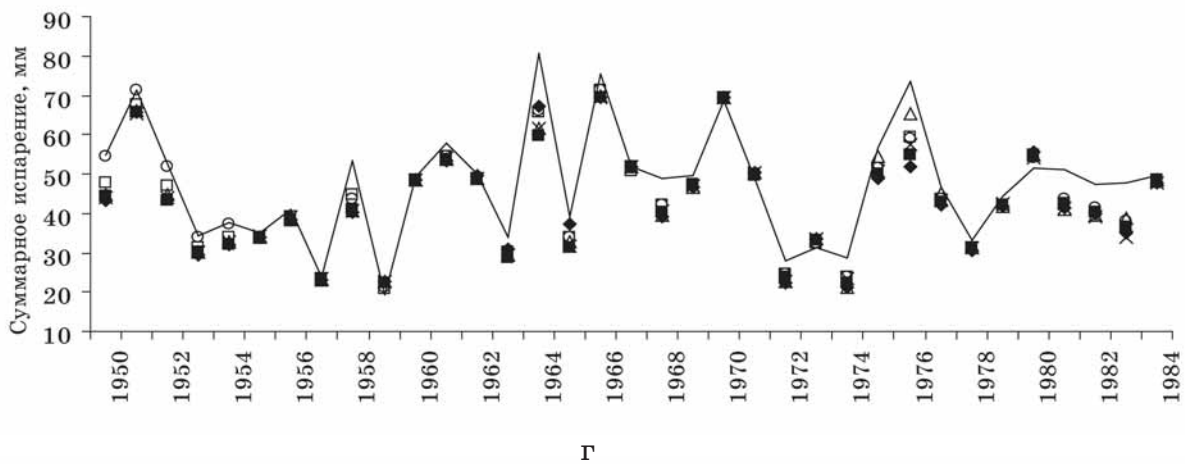
а



б



в



Изменение суммарного испарения агроландшафтов балок по сравнению с испарением естественной растительности: а — май; б — июнь; в — июль; г — август; д — сентябрь; е — теплый период года. Условные обозначения: ■ — балка Травопольная; ▲ — балка Хорольская; □ — балка Селекцентровская; × — балка Степная; ○ — балка Солонцы; ◆ — балка Высокая; — — естественная степь

отдельных отрезках вегетационного периода почти во все годы, а после уборки урожая и до конца теплого периода влажность превышала критические значения в половине случаев. Наибольшее иссушение корнеобитаемого слоя почвы наблюдалось в течение всего вегетационного периода под естественной лесостепной растительностью. Однако различия в значениях влажности почвы на агроландшафтах и естественных лесостепных ландшафтах не столь велики.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что условия формирования водного режима на водосборах балок Каменной Степи за многолетний период изменились. Обусловлено это в основном климатическими факторами. Постепенный рост температуры воздуха, увеличение количества атмосферных осадков в холодный период, зимние оттепели — все это привело к значительному повышению уровня грунтовых вод. Эти же процессы изменили внутригодовое перераспределение поверхностного стока, усилив его роль в холодное время года.

Проведенный анализ результатов расчетов суммарного испарения, как одного из основных расходных компонентов водного баланса, и запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы показал, что замена естественного лесостепного ландшафта агроландшафтом не оказывает существенного влияния на характеристики водного режима в условиях лесостепной зоны. Наиболее значительное изменение компонентов водного баланса (в частности, испарения и влагозапасов корнеобитаемого слоя) в результате сельскохозяйственного использования водно-земельных ресурсов происходит в период вегетации. Очевидно, по мере увеличе-

ния засушливости климата замена естественной растительности агроландшафтом может оказать большее влияние на водный режим.

Список литературы

1. Каменная Степь — 100 лет спустя [Текст] ; под редакцией Ф. Н. Милькова. — Воронеж : изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1992. — 274 с.
2. Каменная Степь: лесоаграрные ландшафты [Текст] ; под редакцией Ф. Н. Милькова. — Воронеж : изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1992. — 224 с.
3. Golubash, T. Yu. Evaluation of changes of the water- salt regime indicators and of irrigated lands productivity for arid zone by means of modeling [Text] / T. Yu. Golubash, N. I. Sentsova // The Second International Iran and Russia Conference «Agriculture and Natural Resources». — М.: Timiriyev Agricultural Academy, 2001. — P. 244–254.
4. Голубаш, Т. Ю. Оценка изменения водного режима агроландшафта лесостепной зоны [Текст] / Т. Ю. Голубаш, Н. И. Сенцова // Изв. РАН. Сер. География. — № 3. — 2006. — С. 76–83.
5. Будаговский, А. И. Влияние водного фактора на продукционный процесс растительного покрова [Текст] / А. И. Будаговский, Т. Ю. Голубаш // Водные ресурсы. — 1994. — Т. 21. — № 2. — С. 133–143.
6. Сенцова, Н. И. Пространственно-временные изменения формирования водного режима в Каменной Степи [Текст] / Н. И. Сенцова // Водные ресурсы. — 2002. — Т. 29. — № 6. — С. 676–679.

Материал поступил в редакцию 12.03.2008.

Голубаш Татьяна Юрьевна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 135-04-67, факс 8 (499) 135-54-15
E-mail: bolgovmv@mail.ru

Сенцова Надежда Ивановна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 135-04-67, факс 8 (499) 135-54-15
E-mail: sentsova@yandex.ru