

логических, социальных и других ограничений мелиоративной деятельности; производственные функции; имитационные и оптимизационные модели; атрибутивные и графические базы данных и знаний, ГИС-технологии, электронные таблицы, текстовый редактор и т. п. Большое внимание уделяется информативности выходных документов. Выходная информация должна представляться в удобной форме, привычной для восприятия пользователя.

Выводы

Предлагаемое решение имеет возможности неограниченного развития как с позиции совершенствования внутренней организации работы по управлению эксплуатацией мелиоративных систем, так и с позиции обеспечения отрасли любой информацией, появляющейся в

процессе деятельности управления.

Принцип поэтапного создания и развития системы государственной поддержки принятия решений позволяет вести эту работу непрерывно и планомерно с максимальным использованием возможностей унификации и типизации решений.

Ключевые слова: поддержка решения, эксплуатация, мелиоративная система, информационное обеспечение, геоинформационная технология.

Список литературы

1. Концепция геоинформационной поддержки принятия управленческих решений в мелиорации и сельскохозяйственном водоснабжении [Текст]. – М.: ВНИИГиМ, 2001. – 43 с.
2. Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений [Текст]; утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации 26.05.1998. – М.: ГП «Госэкомелиовод», 1998. – 40 с.

УДК 502/504:556

Т.Ю. Голубаш, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник

Н.И. Сенцова, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник

Институт водных проблем РАН

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

Рассмотрены особенности формирования главных 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 Стены).

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 realization of numerical experiments. The job is considering quantitative assessment of total evaporation and soil water supply as a consequence of transformation of nature landscape on agro-landscape (by the example of 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, снижается почвенное плодородие и пр.). При этом, если снижение урожая и потеря плодородия почв имеет локальный характер, то изменение

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

состояния водоисточников, включая грунтовые воды, в результате нерационального использования водных ресурсов может приобрести 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 имеют неуправляемый характер. Поэтому целесообразно выделить роль внешних факторов в формировании водного режима агроландшафтов при изменяющихся условиях, оценить их с точки зрения качества и количества. Для этого 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 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 века в Каменной Степи была создана система защитных лесонасаждений, которые периодически обновлялись. За состоянием лесных полос и их воздействием на агроландшафты вели постоянные наблюдения.

Площадь, занимаемая лесными полосами, в настоящее время составляет около 8 % от общей площади землепользования. Почвы на территории рассматриваемых балок — обыкновенные черноземы, различного механического состава — от легких до тяжелых суглинков. 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 земной 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, водно-физических свойств почвогрунтов и др.) и структуры агроландшафта балок, рассмотрели динамику указанных характеристик за многолетний период, их направленность и отклонения от средних величин по различным временным интервалам.

Временные периоды (по годам) с повышенными (по сравнению со средним уровнем) и пониженными показателями метеорологических факторов выделяли на основе построения и анализа разностных интегральных кривых для температуры воздуха, атмосферных осадков и скорости ветра. С целью выявления наличия трендов в колебаниях метеорологических характеристик был проведен статистический анализ временных рядов. Степень значимости трендов оценива-

ли 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]. Главные процессы такого взаимодействия: суммарное испарение, инфильтрация и капиллярное подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами [5]. При расчете компонентов водного баланса учитывали показатели гидрометеорологических факторов, вид почвенного покрова, его водно-физические свойства, гидрогеологические условия (глубину 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 следующее: в колебаниях метеорологических элементов происходили однонаправленные изменения. Однако динамика изменения показателей гидроэкологического состояния территории была неоднозначной. Так, до 1990 г. поверхностный сток и влагозапасы зоны аэрации понижались. Однако с начала 90-х гг. прошлого века, когда произошел резкий спад антропогенной нагрузки, наблюдалось их увеличение.

Сравнительный анализ средних многолетних 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. XX века 29,8 мм, в последнем десятилетии 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 прошлого века наблюдалось внутригодовое перераспределение стока со значительным усилением его роли в холодное время года. Эти изменения могли быть связаны как с влиянием хозяйственной деятельности, так и с колебаниями погодных условий, например: повышение температу-

ры, особенно в холодный период, приводило к частым зимним оттепелям. В результате периодического оттаивания почв и инфильтрации атмосферных осадков снегозапасы уменьшались, соответственно понижался и весенний поверхностный сток [6].

Многолетние изменения климатических факторов оценивали для температуры приземного слоя воздуха и сумм атмосферных осадков за теплый и холодный периоды и в целом за год. Среднегодовое количество атмосферных осадков за инструментальный период (1893–2001) составило 450 мм, при этом их основное количество выпало в теплый период — 319 мм. Изменчивость годовых сумм атмосферных осадков и осадков теплого периода была невысокой: соответственно 0,20 и 0,24. Изменчивость атмосферных осадков за холодный период выше: 0,36. Средняя годовая температура воздуха за этот же период равнялась 5,7 °С, а средняя температура теплого и холодного периодов — соответственно 13,9 °С и –3,9 °С. Коэффициент вариации годовых значений температуры воздуха составил 0,19, за теплый период — 0,08. В холодный период изменчивость температуры воздуха была довольно значительной — коэффициент вариации 0,35.

Анализ разностных интегральных кривых, построенных для среднегодовых значений температуры воздуха, средних значений за теплый и холодный периоды года, а также сумм атмосферных осадков за год, теплый и холодный периоды с 1893 по 2001 гг. позволил выделить периоды повышенных и пониженных значений. При этом точки перелома всех кривых совпали и находились примерно на уровне 1950 г. До этого момента от начала наблюдений средние значения температуры воздуха понижались. С 50-х гг. температура воздуха повышалась. Выпадение атмосферных осадков за теплый период до середины XX века увеличивалось. Количество осадков в холодное время года уменьшалось. После 1950 г. осадки за год и за теплый период понижались по сравнению с первой половиной XX века, а за холодный период повышались. Начиная с 1980-х гг. наблюдался их рост как за год, так и за теплый и холодный периоды.

Анализ средних величин рассматриваемых метеорологических элементов за от-

дельные 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	Годы				
	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. были выше на 0,6 °С по сравнению с предыдущим периодом, а увеличение годовых сумм атмосферных осадков составляло около 20 мм. Увеличение осадков за год происходило за счет холодного периода (примерно на 45 мм), в теплое время года количество атмосферных осадков уменьшилось почти на 30 мм. 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. выше среднемноголетних не только за весь период наблюдений, но и средних за период повышенных значений температур воздуха и атмосферных осадков (1951–1998).

Увеличение атмосферных осадков и температуры, особенно в холодный период, соответственно и наличие зимних от-

тепелей привело к подъему уровня грунтовых вод, который является интегральным показателем водного режима. Как видно из таблицы, уровень грунтовых вод в XX веке постоянно возрастал, а в последние десятилетия он поднялся почти в 2 раза и находится на уровне 3 м от земной поверхности. При этом в отдельные периоды года грунтовые воды достигают корнеобитаемой зоны. Анализ материалов наблюдений гидрогеологического отряда по водосборам балок за 1998 г. показал, что на многих земельных угодьях в весенне-летний период уровень грунтовых вод поднимался выше 2 м от земной поверхности, а на некоторых участках 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. На балке Солонцы к концу весеннего периода грунтовые воды залежали по территории на глубине от 3,7 до 1,7 м. На балках Степной и Хорольской грунтовые воды поднимались в корнеобитаемую зону выше 1 м. Это было вызвано увеличением атмосферных осадков, сумма которых превысила более чем на 100 мм среднемноголетнее 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 в их изменениях: скорость ветра понижается, температура воздуха и количество атмосферных осадков несколько увеличиваются (особенно это заметно в холодное время года). Наибольшую статистическую значимость имеет ряд скорости ветра — коэффициент ранговой корреляции равен 0,8 (это подтверждает наличие отрицательного тренда за последние 100 лет). Тенденция к повышению температуры воздуха не оказалась статистически значимой (значения коэффициента ранговой корреляции меньше 0,3). Тенденция к увеличению количества выпадающих атмосферных осадков статистически значима только в холодный период (коэффициент в это время равен 0,5, в теплый же период он равен 0).

Влияние хозяйственной деятельности на землях сельскохозяйственного использования проявляется в замене естественных биоценозов на искусственные — агроценозы. В первую очередь это действует на изменение структуры и величин суммарного испарения и влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы. Поэтому основное внимание авторы уделили исследованию этих характеристик. При расчете суммарного испарения рассматривали четыре вида растительного покрова: сельскохозяйственные культуры, многолетние травы, степную растительность, лесополосы (предполагалось, что лесополосы засажены лиственными деревьями). Для сельскохозяйственных культур (агроценозов) использовали средние значения изменения относительной площади листьев зерновых культур в течение вегетационного периода.

Анализ структуры угодий на территориях шести балок Каменной Степи (1950–1985) показал, что от 60 и до 90 % площадей занимали сельскохозяйственные культуры. Так, например, на балке Травопольной их площади составляли 95 %, а в последнее десятилетие XX столетия за счет увеличения посевов многолетних трав уменьшились до 45 %. Лесополосы занимали 6 %. На территории Степной балки площадь сельскохозяйственных угодий составляла 90 %. При этом в отдельные годы она снижалась до 70...80 % за счет увеличения многолетних трав в севообороте до 20...30 %. Площадь лесополос увеличилась от 2 до 6 %. На балке Хорольской от 84 до 94 % площади было занято сельскохозяйственными культурами. С середины 70-х гг. больше половины территории составляли травы, площадь лесополос сократилась 13 до 6 %. Балка Солонцы до середины 50-х гг. была занята травяной и древесно-кустарниковой растительностью. Впоследствии более 60 % освоили под сельскохозяйственные культуры, многолетние травы перестали произрастать, а 35 % территории осталось под лесной растительностью. В 50-е гг. на балке Селекцентровской под сельскохозяйственные культуры использовали 58 % площадей, с начала 60-х гг. — до 65 %, а в конце 70-х — до 75 %. Доля многолетних трав весьма незначительна (порядка 2 %). Площадь под лесной и древесно-кустарниковой расти-

тельностью изменялась в соответствии с периодами освоения от 40 до 35 % и в конце 70-х гг. уменьшилась до 22 %. Территория балки Высокой была освоена почти полностью. Сельскохозяйственные культуры занимали 95 % площади, лесополосы — 4 %. В отдельные 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) за период 1950–1985 гг. на территориях балок были рассчитаны средневзвешенные ежемесячные величины суммарного испарения, которое и является суммарным испарением агроландшафта. За этот период были рассчитаны и величины суммарного испарения с балок (предполагали, что их территория полностью занята естественной лесостепной растительностью). Полученные величины суммарного испарения агроландшафта для каждой из балок сравнивали 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.

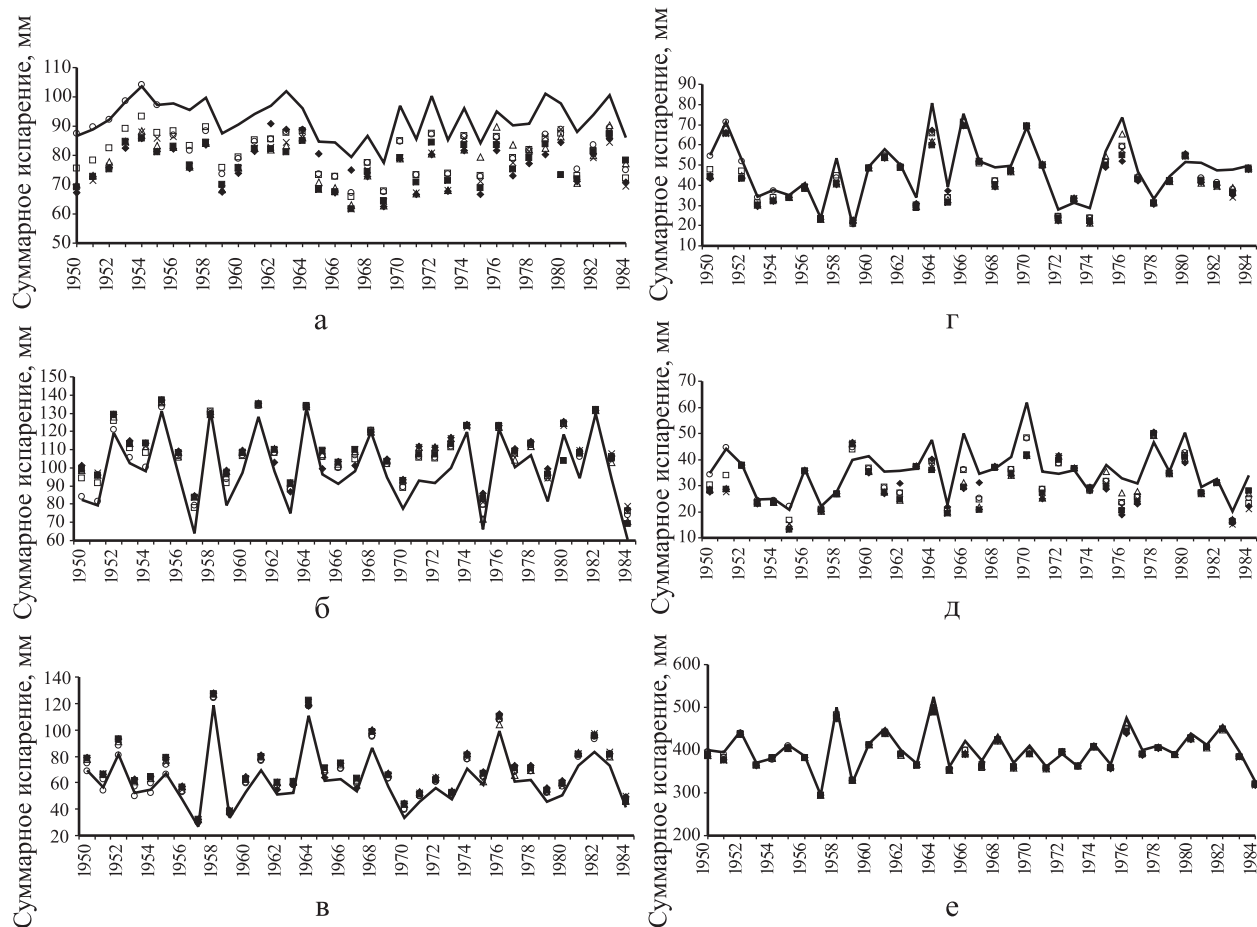
Как показывают результаты расчетов, средние величины суммарного испарения агроландшафта за теплый период по балкам составляют 391...393 мм при коэффициенте вариации 0,11, а суммарное испарение естественной растительности — 401 мм при коэффициенте вариации 0,12.

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 выше на 10...25 % испарения агроландшафта. В мае по мере роста температуры воздуха и усиления активности вегетации растений, особенно травяной растительности, суммарное испарение естественного лесостепного ландшафта превышает средневзвешенное испарение по балкам (испарение агроландшафта) более чем на 20 %. Эти различия меняются в зависимости от структуры агроландшафта балок

и характеристик тепло- и влагообеспеченности. С увеличением площадей, занятых многолетними травами и древесно-кустарниковой растительностью, они уменьшаются. В более засушливые годы (1953, 1957, 1959, 1962 и др.) эти различия возрастают. В июне и июле в период активной вегетации большинства сельскохозяйственных культур их суммарное испарение превышает испарение лесостепи на 5...15 % (в зависимости от структуры использования земель). В августе в период массовой уборки основных сельскохозяйственных культур значения суммарного испарения лесостепной растительности больше величины суммарного испарения агроландшафта балок. Превышение более значительно в засушливые годы (может быть больше 30 %), а также в годы с большим количеством осадков и пониженными значениями температуры вегетационного периода и испаряемости. В средние по метеоусловиям годы значения суммарного испарения

агроландшафтов балок и степи почти одинаковы. В сентябре различия возрастают. В целом за теплый период суммарное испарение агроландшафтов балок почти полностью совпадает с испарением естественной лесостепной растительности.

Анализ результатов расчета запасов продуктивной влаги корнеобитаемого слоя почвы показал, что за большую часть лет рассматриваемого периода ее величины опускались 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. Показатели влажности корнеобитаемого слоя почвы под сельскохозяйственными культурами



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

опускались ниже критических значений на отдельных отрезках вегетационного периода почти во все годы, а после уборки урожая и до конца теплого периода превысили 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. Так, повышение температуры воздуха, увеличение количества атмосферных осадков в холодный период, зимние оттепели вызвали значительное повышение уровня грунтовых вод. Эти же процессы привели к внутригодовому перераспределению поверхностного стока со значительным усилением его роли 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. Изменение компонентов водного баланса (в частности,

испарения и влагозапасов корнеобитаемого слоя) в результате сельскохозяйственного использования водно-земельных ресурсов наиболее значительно внутри вегетационного периода. Очевидно, по мере увеличения засушливости климата замена естественной растительности агроландшафтом может оказать большее влияние на водный режим.

Ключевые слова: агроландшафт, водный баланс, суммарное испарение, влагозапасы почвогрунтов, Каменная Степь.

Список литературы

1. Каменная Степь – 100 лет спустя [Текст] / Под ред. Ф. Н. Милькова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1992. – 274 с.
2. Каменная Степь: лесоаграрные ландшафты [Текст] / Под ред. 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. : Timiriazev Agricultural Academy, 2001. – P. 244–254.
3. **Голубаш, Т. Ю.** Оценка изменения водного режима агроландшафта лесостепной зоны [Текст] / Т. Ю. Голубаш, Н. И. Сенцова // Изв. РАН. Сер. географ. – 2006. – № 3. – С. 76–83.
4. **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.
5. **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.