

УДК 634.93; 551.0

**АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОЕ (ЛАНДШАФТНО-КЛАСТЕРНОЕ) УПРАВЛЕНИЕ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ ТЕРРИТОРИЙ, АГРОЭКОСИСТЕМАМИ
БАССЕЙНОВЫХ ЛАНДШАФТОВ И ОЗДОРОВЛЕНИЕМ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ
ЧЕЛОВЕКА В СТЕПНОМ ЗАСУШЛИВОМ СУБРЕГИОНЕ**

© 2017 В.И. Панов

Поволжская АГЛОС – филиал Федерального научного центра агроэкологии,
комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Самара

Статья поступила в редакцию 30.05.2017

Степные сельскохозяйственные поля не защищены от ветров, суховеев и метелей в засушливом аридном субрегионе. Они бесполезно ежегодно теряют около 250–270 мм воды на сублимацию, физическое испарение и на поверхностный сток (от средней годовой суммы атмосферных осадков 450–480 мм). Агролесомелиоративные насаждения и мелиоративные ландшафтно-кластерные системы защищают поля и агроландшафты. Эти методы сокращают потери воды на 50–60%, что позволяет получить сельскохозяйственным растениям 120–170 мм дополнительной воды для прибавки урожая. Лесоаграрные комплексы улучшают гидрологический режим защищаемой территории, агроландшафтов. Они обеспечивают в них высокое качество природных вод.

Ключевые слова: *водный баланс, сублимация, атмосферные осадки, поверхностный сток, смыв, ветрометельная сублимация снега, инфильтрация, влагозапас, гидрологический режим, лесные полосы, техногенное и кластерно-синергетическое аграрное природопользование, катена, эрозия почв, водосборный бассейн, лёгкая вода, изотопы*

Лесостепь, степь и сухая степь юга и юго-востока европейской части России относятся к огромному трансграничному семиаридному и аридному аграрному субрегиону. Он получил название «зоны рискованного земледелия» из-за жаркого, засушливого климата при постоянном, почти хроническом, дефиците воды и неравномерном во времени выпадении атмосферных осадков, частых засух, суховеев, пыльных бурь и широко развитых процессов водной эрозии. Вода является главным «минимум-фактором» всех естественных и искусственных аграрных экосистем. В числе самых первоочередных была и остается проблема решения нехватки водных ресурсов, преодоления засух, снижения их отрицательного воздействия на жизнь природы, людей и государства. Каковы же пути и методы решения этой сложной и очень важной проблемы?

Важнейшая задача – выйти на высокий уровень продуктивности и устойчивого развития сельского хозяйства, обеспечивающий благополучие всех аграрных и естественных экосистем, эколого-социально-экономическое процветание сельского населения региона. Здесь исключительно велика роль воды, поэтому надо обратить особое внимание на состояние использования местных водных ресурсов. Не секрет – в вопросах практического использования воды в засушливом регионе имеется много упущений, что связано с недостатком знаний по гидрологии аграрного природопользования. Для этого необходимо коренным образом изменить

наше отношение к воде – этой величайшей драгоценности степного края («минимум-фактор», «основа всего живого», «вода – ты сама жизнь»), соблюдать все необходимые условия по экономному, рациональному и бережному её использованию, особенно в засушливые и острозасушливые годы.

Цель исследований. Разработать высокоэффективные агролесомелиоративные (Докучаевские ландшафтно-кластерные системы) приёмы и методы воздействия, управления и преобразования гидрологических режимов, защищаемых территорий, агроценозов и бассейновых агроэколандшафтов, выявить их количественные величины и определить гидрологические факторы, улучшающие экологию среды обитания человека.

Регион исследований. Многолетние исследования эрозионно-гидрологических процессов и гидрологических режимов различных аграрных и естественных биогеоценозов и ландшафтов, в том числе и преобразованных и управляемых методами агролесомелиорации, проводились на Поволжской АГЛОС, на обыкновенных чернозёмах Самарского степного Заволжья, в 10 км южнее г. Самары. Полученные результаты применимы для обширного степного субрегиона Среднего Поволжья.

Как показывает действительность, в этом регионе существует и повсеместно распространена общепринятая методология аграрного природопользования, основанная на чрезмерно большой доли техногенности и энергоресурсозатратности в земледелии и растениеводстве, на не экономных, часто расточительных и затратных методах использования всех видов ресурсов, особенно воды. Непродуктивные, бесполезные потери воды допускаются во всех звеньях прихода и расхода местных

Панов Валерий Иванович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по научной работе. E-mail: aglos163@mail.ru

водных ресурсов – при выпадении атмосферных осадков (ветро-метельная сублимация, ускоренное физическое испарение при ветровом обдуве разрыхлённых почв и посевов на незащищённых больших полях) и при формировании интенсивного агротехногенного поверхностного стока. Последствия этого – низкая урожайность сельскохозяйственных культур, нестабильность сельскохозяйственного производства.

Новизна исследований. Генеральный, перспективный и стратегически целесообразный путь дальнейшего прогрессивного развития и стабилизации сельского хозяйства и всего аграрного сектора экономики в засушливом степном поясе – это всемерное освоение докучаевского ландшафтно-кластерного принципа по упорядочению водного хозяйства в степях России [5]. Гениальная научная идея, предложенная в конце XIX столетия В.В. Докучаевым, получила своё дальнейшее развитие [14, 17]. В соответствие с ним необходимо перейти на освоение и введение здесь эколого-эрозионно-безопасного высокобиологизированного аграрного природопользования с агролесо- и гидромелиорацией полевых и степных угодий в пределах каждого водосборного бассейна (межхозяйственного бассейнового агроэкополиса) на принципах наиболее полного, экономного и рационального использования всех природных ресурсов, в первую очередь, воды. По докучаевскому ландшафтному принципу [5] в пределах каждого бассейнового агроэкополиса осуществляется противозерозионное ландшафтное земле-природообустройство, при котором соблюдается контурное размещение полей и лесных защитных насаждений (полос) с оптимизированными параметрами, размещением и соотношением основных элементов (типов угодий) любого ландшафта – пашни, степи, леса, воды, поселений. Используются разнообразные приёмы, методы и технологии (кластеры) сбережения и рационального использования местных природных ресурсов, в первую очередь, воды и почвенного плодородия. Все меры целостно направлены на наиболее полное сохранение и биопродуктивное использование всех местных водных и других природных ресурсов (получение синергетического ландшафтного эффекта) по улучшению и стабилизации экологической ситуации и эффективности аграрного природопользования.

Современное агроландшафтное обустройство землепользований. В настоящее время внутрихозяйственное землеустройство досталось от советских времён с прямолинейной нарезкой границ полей при их прямоугольной конфигурации и без учёта рельефа. Поля имеют предельно большие площади (200-300 га и больше), вследствие чего они продуваются сильными ветрами и метелями, происходит усиленная сублимация (возгонка) и сносленос снега зимой и большие непродуктивные потери влаги на физическое испарение в тёплый период. При таких размерах полей лесные полосы размещены редко, часто вдоль склонов и не выполняют свои противозерозионные и гидрологические

функции. Овраги не закрепляются и продолжают расти, нет и целенаправленного задержания поверхностного стока каскадами прудов и водохранилищ для орошения и комплексного народнохозяйственного использования. При таком земле- и ландшафтообустройстве вопросы почвенно-эрозионной безопасности не решены, происходит ускоренный смыв почвы и падение её плодородия. Разрушительная агротехногенная водная эрозия приобрела огромные масштабы и катастрофические формы. В целом ситуация на степных чернозёмных землях остаётся очень сложной и тревожной. Использование земли ведётся без соблюдения основ эрозионной безопасности. Аграрное природообустройство в агрохозяйствах нуждается в скорейшем совершенствовании и изменении на докучаевском ландшафтно-кластерном принципе.

Методика исследований, теоретические основы и опытные объекты. Важнейшим методом исследований гидрологических режимами территорий, агробиоценозов и катенно-бассейновых агроэколандшафтов, преобразования и управления ими, является водно-балансовый метод с использованием элементарных и комбинированных стоковых площадок, а также репрезентативных и опытных водосборов с разными агро- и биогеоценозами и комплексными сопряжёнными агроэколандшафтами. Стоковые площадки имеют разные агрофоны (разные виды зяблевой пахоты, стерни, сельхозкультур и др.); для изучения влияния лесных полос на защищаемое поле применяются комбинированные стоковые площадки, состоящие из участка поля и участка защищающей его лесной полосы. Площадки оборудованы водосливами для учёта поверхностного стока, на них осуществляется комплекс гидрометеорологических наблюдений (снежный покров, влажность почв, промерзание почв и грунта, снеготаяние, сток и другие). Опытные водосборы оснащены гидрометрическим оборудованием (водосливы, самописцы уровня воды «Валдай», мерзлотомерами и др.)

Стратегия решения проблемы хронического дефицита воды и негативных для страны последствий часто повторяющихся здесь засух в агроландшафтах наиболее перспективна с позиций синергетики [16, 17]. На них осуществляется комплекс гидрологических исследований водного баланса данного ландшафтного объекта – всех его приходных и расходных элементов (влагозапас в снеге, поверхностный сток, инфильтрация, испарение, смыв почвы, режим влажности почв, грунтовые воды, биопродуктивность ценозов и др.).

Теоретическая основа управления и преобразования гидрологических режимов ценозов и ландшафтов агролесомелиоративными (ландшафтно-кластерными) методами заключена в математической модели уравнения водного баланса – в изменении её элементов приходных и расходных статей под воздействием лесных насаждений, как защитно-мелиоративного барьера, и рубеже на пути полифазных (воздушных и водных) потоков.

В засушливых природных зонах (лесостепь, степь, пустыня) коренные зонально-природные аттрактивные экогеоландшафты адаптированы к минимум-фактору, влаге, и на её наиболее своевременное, эффективное, экономное и продуктивное использование при минимуме непродуктивных потерь. То же самое необходимо осуществлять в агроэколандшафтах, ориентируясь под сельхозкультуры. На основании анализа выполненных в нашей стране и за рубежом экспериментальных работ по динамике изотопного фракционирования поверхностных вод в ландшафтосфере, в работе приведены прогнозные расчёты (методом моделирования) сохранения в лесомелиорированных агро-

ландшафтах лёгкой (протиевой) воды, что благоприятно отражается на оздоровлении среды обитания человека в засушливом регионе.

Опытные объекты. В данном исследовании приведены результаты многолетних экспериментальных гидрологических и снегомерных исследований в естественных и рукотворных лесоаграрных ценозах и ландшафтах опытного хозяйства Поволжской АГЛОС. Элементы водного баланса приведены по исследованиям на нескольких опытных водосборах. Их краткая характеристика дана в табл. 1. Ниже приведена краткая характеристика видов ландшафтов на опытных водосборах.

Таблица 1. Основные показатели опытных водосборов Поволжской АГЛОС

Наименование водосбора	Общая площадь (га)	Экс позиция	Средняя над уровнем моря (м)	Средний уклон	Средние размеры (км)		Лесистость, (%)	
				средняя крутизна (0°)	длина	ширина	общая	противоэрозион. пашни
Простые водосборы								
«Пастбище»	1,3	Ю	90-100	$\frac{0,100}{5,0}$	0,2	0,1	0	0
«Полевой»	15,2	В	115-143	$\frac{0,035}{2,0}$	0,8	0,2	0	0
«Лесомелиорированный»	14,7	Ю	105-135	$\frac{0,030}{1,7}$	1,0	0,15	4,6	4,6
«Лесной массив»	4,2	З	120-140	$\frac{0,027}{1,7}$	0,6	0,1	100	100
комплексные водосборы								
«Первомайский» (типичный, рядовой)	96,1	В	85-144	$\frac{0,033}{1,9}$	1,8	0,5	14,6	1,9
«Питомник» (лесомелиорированный)	68,7	В	85-144	$\frac{0,033}{1,9}$	1,9	0,5	19,7	10,0

«Пастбище» – типичное суходольное выпасаемое пастбище с разнотравным естественным травостоем. «Полевой» - представлен незащищённым (без лесных полос) пахотным полем, в большинстве лет, к снеготаянию, представлен зяблевой пашней (изредка – озимыми). «Лесомелиорированный» - водосбор с несколькими лесомелиорированными полями (лесоаграрные поля, лесоаграрный ландшафт), лесные полосы поперёк склона через 250 м друг от друга, для лучшего водопоглощения усилены валами по нижней опушки. «Лесной массив» - старые лесные культуры сосны обыкновенной, 60-70 лет, в хорошем состоянии, полнота 0,8. Комплексный водосбор – представлен целостной совокупностью нескольких ландшафтов, образующих единое целое. «Первомайский» - является типичным (репрезентативным) комплексным водосбором: полевая часть представлена обычным незащищённым полем (без лесных полос), крутосклоны представлены естественными пастбищами, гидрографическая сеть занята естественным балочным лесом. «Питомник» - комплексный водосбор, на

полевой части создан образцовый противоэрозионный лесоаграрный комплекс.

Результаты и их обсуждение. В основе гидрологического режима любой территории, биогеоценоза и биогеоландшафта лежит круговорот воды в природе (рис. 1). Большой гидрологический цикл воды в ландшафтосфере связан с природными гидротермическими процессами и её фазовыми переходами (вода в твёрдом, жидком и парообразном фазовом состоянии). Сущность его заключается в постоянном циркуляционном процессе: под влиянием Солнца океаническая вода испаряется, пар в атмосфере поднимается вверх, в верхних слоях он охлаждается, конденсируется, переходит в твёрдое состояние (кристаллы, снежинки, капли), облака и тучи переносятся ветрами по всей планете, в том числе, и над сушей, здесь они выпадают в виде снегопадов и дождей, частично впитываются, используются растениями на транспирацию и на физическое испарение, частично стекают в виде поверхностного стока и возвращаются в океан. И такой круговорот воды на Земле происходит всегда и постоянно.

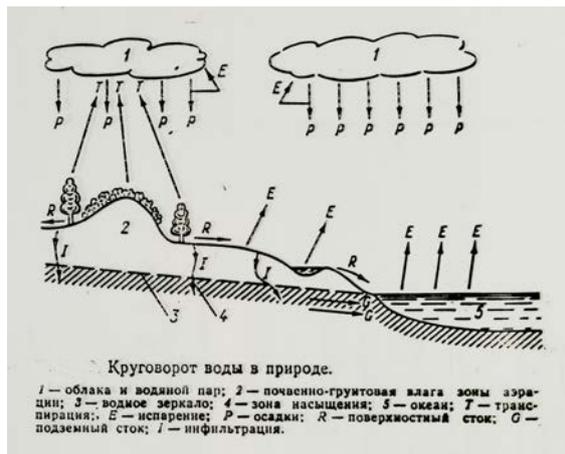


Рис. 1. Общая схема круговорота воды в природе

Годовой гидрологический режим территории определяется формулой водного баланса, включающей в себя следующие составляющие: остаточные запасы влаги прошлых лет в почвенном корнеобитаемом слое (dW), годовое поступление атмосферных осадков (O) с суммированием их потерь в холодный (зимний) период на ветро-метельную сублимацию и снос снега (dO), суммарной инфильтрацией зимних и летних осадков (F) и частичной их аккумуляцией в неровностях почвенного рельефа, прудах и водоёмах (P) с вычетом потерь на поверхностный сток (S), на непродуктивное физическое испарение (E) и продуктивную транспирацию растениями (T). Формула водного баланса локализованной территории имеет вид:

$$O + dW + dO = F + S + E + T + dW_n$$

Из формулы водного баланса видно, что для эффективного ослабления хронического дефицита влаги на территориях, используемых под аграрное природопользование, необходимо комплексом ландшафтно-кластерных мер (противоэрозийной организацией территорий, влагосберегающей агротехникой, мульчированием, системой агролесомелиоративных и других лесонасаждений, структурой посевных площадей, орошением на местном стоке, подбором высокопродуктивных засухоустойчивых видов и сортов и т.д.) добиваться всемерного снижения непродуктивных потерь влаги на ветро-метельную сублимацию снега и его снос с полей, увеличивать остаточные запасы влаги в корнеобитаемом слое почвы (с прошлых лет), увеличивать почвенную инфильтрацию и её расход растениями. Для этого надо сокращать поверхностный сток и все виды непродуктивного физического испарения. Незарегулированный остаточный поверхностный сток должен максимально задерживаться каскадами искусственных водоёмов – прудов и водохранилищ на местном стоке для комплексного последующего использования (вспомогательное орошение, рыбозаведение, спорт, туризм, рекреация и другое). В аридных регионах именно вода как «минимум-

фактор» в целом определяет биопродуктивность агроландшафта:

$$M = f(W_{пр}, T),$$

где M - масса биопродукции агроландшафта; $W_{пр}, T$ - продуктивно используемая влага, транспирационная влага.

В качестве математической модели преодоления засухи, вместо урожая, биопродуктивности и его повышения, можно использовать его аналог, продуктивно используемую воду, идущую на транспирацию ($W_{пр}, T$), то есть взять уравнение годового водного баланса и, путём воздействия и управления его составляющими элементами, с помощью многих агролесомелиоративных природно-кластерных (докучаевского ландшафтного принципа) методов, максимизировать транспирационную (продукционную) составляющую:

$$\{T = (O + dO + dW) - S - E = F + P - E\} \rightarrow \max$$

где: O - годовая сумма осадков; dO - потери снега на ветро-метельный перенос и переотложение; dW - остаточные (с прошлых лет) переходящие запасы продуктивной влаги в корнеобитаемом слое; F - инфильтрация; P - поверхностное задержание осадков (неровности почвы, емкости, водоёмы); S - поверхностный сток; E - потери на все виды физического испарения и сублимации (возгонки) твёрдых и жидких осадков.

Рассмотрим теперь результаты водобалансных исследований элементов весеннего водного баланса различных ландшафтов на опытных водосборах (табл. 2).

Полученные материалы исследований представляют большой научный и практический интерес. Наглядно видно, элементы весеннего водного баланса в разных ландшафтах существенно отличаются. Очевидно ландшафты специфично воздействуют на приходные и расходные элементы своего баланса и, тем самым, определяют его гидрологический режим. Наихудший гидрологический режим имеет водосбор «Пастбище». Ветроударный склон южной экспозиции сильно теряет снег на снос и сублимацию (влагозапас в снеге всего 118 мм). Утрамбованная копытами животных почва при невысоком снеге за зиму глубоко промерзает и плохо впитывает талую воду: сток составил 57 мм, впиталось 61 мм, коэффициент стока (KC) равен 0,48. Несколькая иная гидрологическая ситуация на водосбора «Полевой», занятого пашней, к весне в большинстве лет занятого зяблевой пахотой (глубина вспашки 23-27 см) и изредка озимыми. Склон восточной снегозаносимой экспозиции, поэтому влагозапас в снеге к периоду весеннего снеготаяния 144 мм. Благодаря глубокой зяблевой пахоте, обладающей высоким гидрологическим эффектом, весенняя инфильтрация (впитывание, водопоглощение, а поверхностный сток достигло здесь 127 мм, поверхностный сток составил 17 мм ($KC=0,12$), то есть потери на сток составили 12%, при величине смыва почвы $1,07 \text{ м}^3/\text{га}$.

Таблица 2. Основные элементы весеннего водного баланса простых и комплексных опытных водосборов Поволжская АГЛОС (данные за 20 лет)

Наименования опытных водосборов	Запас снеговой воды + осадки периода таяния (мм)	Впиталось в почву – валовое увлажнение, (мм)	Поверхностный сток (мм)	Коэффициент стока	Смыв почвы (м ³ /га)
простые водосборы					
«Пастбище»	118	61	57	0,48	0,14
«Полевой»	144	127	17	0,12	1,07
«Лесомелиорированный»	173	158	14	0,05	0,35
«Лесной массив»	188	188	00	0	
комплексные водосборы					
«Первомайский» типичный	152	129	23	0,15	0,92
«Питомник» (эталонный, лесомелиорированный)	186	177	9	0,05	0,12

Примечание: 1. В графе «впиталось в почву (мм)» данные приведены без учета слоя испарившейся воды с поверхности почвы и снега за период снеготаяния. 2. В лесном массиве влагозапас в снеге скорректирован на среднюю величину испарившегося снега за зиму, задержанного охвоенными кронами

Опытный водосбор «Лесной массив» представлен 60-70-летними сосновыми культурами 1-го класса бонитета в хорошем состоянии. Их гидрологический режим резко отличается от первых двух ландшафтов: нет больших ветро-метельных потерь снега на сублимацию и снос-перенос и на поверхностный сток. Правда, исследованиями установлено, что хвойные деревья в лесостепной зоне за зиму теряют на испарение порядка 15-20 мм снеговой влаги, задержанной охвоенными кронами (уточненный влагозапас в хвойном лесном массиве составил в среднем 188 мм). Поверхностный сток не формировался, водопоглощение в этом лесу составило 188 мм (с учётом испарения снега, задержанного кронами).

Опытный водосбор «Лесомелиорированный», эталонный по противоэрозионной лесомелиоративной защите, представляет собой несколько полей шириной 250 м, расположенных поперёк склона, на границах которых созданы стокорегулирующие лесополосы с гидроусилением (обвалованы вдоль нижней опушки для повышения водопоглощения талых вод). Он может служить образцом по противоэрозионной лесомелиоративной защите и агролесомелиоративному управлению и преобразованию гидрологического режима аграрного (рукотворного) ландшафта. Средний влагозапас в снеге лесные насаждения на нём сохраняют высокий 73 мм (ветро-метельные потери снега на сублимацию и перенос с незащищённых полевых ценозов, в сравнении с «Полевым», составили 141 мм – 100 мм = 51 мм). Благодаря улучшению водопоглощения в стокорегулирующих лесных полосах и утеплённых снегом полях, поверхностный сток сократился до 15 мм, существенно возросло водопоглощение – до 158 мм (фактически увеличилась влагообеспеченность сельхозкультур и деревьев на водосборе). Сокращение поверхностного стока приводит к ослаблению и

локализации разрушительной антропогенной (агротехногенной) водной эрозии (смыв почвы составил всего 0,12 м³/га).

Полученные результаты подтверждают теоретические расчёты и предположения о высоком защитно-мелиоративном воздействии систем агролесомелиоративных насаждений в сочетании с другими ландшафтными кластерами (агротехника, противоэрозионная организация полей и угодий, структура и размещение посевных площадей, залужение и другие), управлении природными процессами водно-воздушных полифазных потоков (снег, почвенный мелкозём, энерго-массоперенос) и в их преобразовании – улучшение гидрологического режима территорий и агроландшафтов через влияние и управление элементами водного баланса. Аналогичное подтверждение этого вывода дают данные исследований водного баланса и на двух опытных больших комплексных водосборах, площадью около 70-100 га, где представлены сочетания разных аграрных и естественных (природных) ландшафтов (табл. 2, комплексные водосборы): «Первомайский» – контрольный, типичный (репрезентативный), с полевой частью незащищённой от ветров, метелей и водных потоков лесными полосами, и «Питомник» – эталонный, образцовый по агролесомелиоративной защите полевой его части. Элементы водного баланса «Питомника» существенно изменились под управляющим защитно-мелиорирующим агролесомелиоративным воздействием на водно-воздушные потоки на водосборе: по снегу на 34 мм, по поверхностному стоку – на 14 мм, по инфильтрации – на 48 мм.

Из результатов исследований видно, что в условиях высокой испаряемости (700-900 мм/год) и недостаточности среднегодовой нормы осадков в степи (в среднем 400-450 мм), оптимизация увлажнения данной территории достигается путём максимального задержания и сбережения выпавших

здесь атмосферных осадков $O + dO$ (твёрдых и жидких), сокращения поверхностного стока S и всех видов физического испарения и сублимации E .

Наши многолетние специально поставленные исследования формирования снежного покрова в разных природных (лесных), аграрных и агролесомелиорированных (лесоаграрных) ландшафтах [18] позволили выявить высокий защитно-барьерный эффект лесных насаждений (рис. 2) на пути снежно- и пыле-ветровых полифазных потоков; в зависимости от своих аэродинамических преградных воздействий, они снижают их скорость и взвесенесущую способность, за полосой возникают турбулентные завихрения, снег и пыль оседают. Чем короче линия снегопереноса, тем меньше его потери на ветро-метельную сублимацию и снос. При длине линии переноса 1300 м и более, общие потери снега с этого поля к концу зимы достигают 50-60% и более (50-70 мм или 500-700 м³/га и более). Пока об

этих огромных потерях драгоценной и дефицитной степной влаги сельские труженики практически ничего не знают, а это важнейший неиспользуемый резерв и важный ресурс повышения и стабилизации урожайности и продуктивности степного сельского хозяйства. Важнейший, самый экономичный, экологичный и долговременно действующий метод их сохранения на полях – создание оптимизированных по параметрам лесоаграрных или агролесомелиорированных агроценозов (полей) и катенно-бассейновых агроэколандшафтов. Только из-за дополнительно сохранённого на лесомелиорированных полях снега, каждый гектар способен дополнительно дать прибавку урожая на 5-7 ц/га. Эти новые знания позволят коренным образом изменить отношение хлеборобов к лесным полосам, увидеть в них своего верного и надёжного помощника.

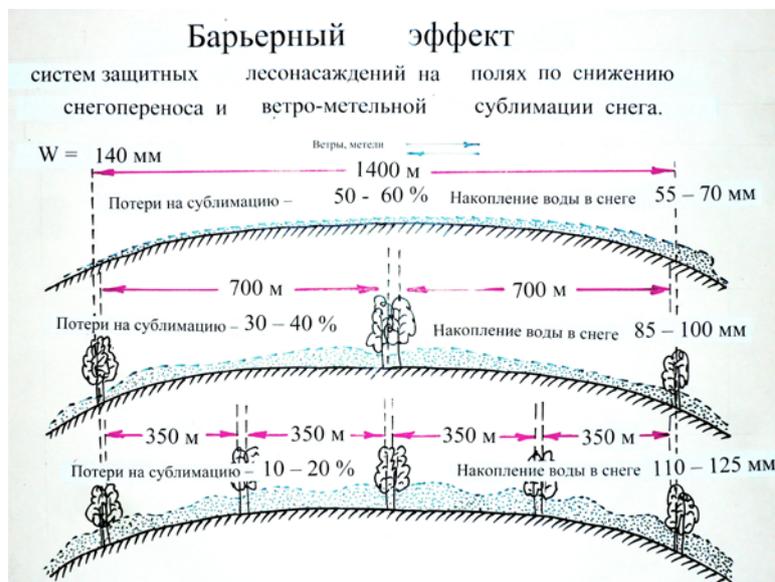


Рис. 2. Схема барьерного эффекта действия защитной лесной полосы по снижению ветро-метельной сублимации и сноса-переноса снега с защищёнными лесными полосами полей

Теперь коснёмся вопросов коренного улучшения и преобразования гидрологического режима степных, незащищённых лесными полосами, полей (ценозов) и больших пахотных угодий (бассейновых агроландшафтов). По нашим исследованиям [17, 18] и по обобщённым литературным данным А.М. Бялого, Д.И. Бутова, А.Р. Константинова, М.И. Львовича, Г.П. Сурмача и многих других исследователей [3, 4, 9], в чернозёмной степи Среднего Поволжья при средней годовой сумме атмосферных осадков $O = 400-450$ мм, усредненные непродуктивные потери водного баланса в техногенном, незащищённом лесными полосами агроландшафте, составляют: снега на ветро-метельную сублимацию (возгонку) за холодный период года – 40-60 мм, на поверхностный сток – 15-35 мм и больше, на метельный перенос dO (переотложение снега в понижениях рельефа и у различных преград) – 10-20 мм, на физическое испарение с поверхности почвы от схода снега и до

начала полевых работ – 20-45 мм, с начала полевых работ и до смыкания травостоя сельхозкультур – 55-65 мм, на эпизодический ливневой сток – 10-15 мм, на испарение дождевой влаги с поверхности листьев и ветвей растений – 20-40 мм, с оголенной вспаханной почвы после уборки урожая и до устойчивого снежного покрова – 60-75 мм.

Пашня в течение почти 5 месяцев (150 суток; апрель – май в начале вегетации и сентябрь – ноябрь в конце) находится в оголенном от растительного покрова состоянии с низким альбедо (с низкой отражательной способностью); почва сильно нагревается и усиленно теряет влагу из почвенного горизонта. Это нерационально и расточительно. Общие суммарные непродуктивные потери влаги в техногенном, незащищённом лесными полосами агроландшафте за холодный период (декабрь – март) составляют 55-115 мм, в среднем 75-90 мм или 17-19%, а за теплый – 180-240 мм (в среднем 200-210

мм) или более 41-45% годовой нормы осадков. Общие годовые непродуктивные потери осадков за год достигают 250-290 мм или более 55-60%. На продуктивный транспирационный (Т) расход, связанный с расходом влаги на биопroduкцию – на получение урожая, остается 160-200 мм, что при норме расхода 10 мм на 1 ц зерна позволяет получить средний урожай всего 16-20 ц/га, а в засушливые и острозасушливые годы – много ниже – всего 6-10 ц/га.

Из приведенных материалов видно, что непродуктивные потери влаги в техногенных незащищенных агроландшафтах очень велики, расточительны и при кластерно-синергетических принципах агроприродопользования [17] могут быть значительно (на 50-65% и более) уменьшены. Следовательно, потенциальный урожай при этом увеличится в 2-2,5 раза в обычные годы и в 1,5-2 раза в острозасушливые годы; амплитуда колебаний урожайности зерна и общей биопroduктивности сельскохозяйственных культур в многолетнем ряду резко уменьшится, что свидетельствует об увеличении устойчивости земледелия при положительном решении проблем гидрологии агроценозов и агроландшафтов. При использовании кластерно-синергетического влагосберегающего и эрозионно-безопасного агроприродопользования с агролесомелиорацией (реализация докучаевского ландшафтного принципа), это достигается целостной системой влагонакопительных, влагосберегающих и гидромелиоративных мер, условно объединенных в кластерные блоки, изложенные в специальной работе [17].

Все это и многие другие приемы позволят реально сократить чрезмерно большой непродуктивный расход воды на 50-60% от его суммарной величины 250-280 мм, что добавит запас продуктивной влаги на 125-170 мм и позволит частично использовать его на формирование дополнительной прибавки урожая зерна до 12-17 ц/га к среднегодовой его величине, доведя его на первом этапе до 25-30 ц/га и более, а в острозасушливые годы – до 15-20 ц/га, на втором усовершенствованном этапе – до 50-60 ц/га зерна и выше.

Из приведенных материалов видно, как не экономно, а чаще расточительно и непродуктивно используется имеющаяся в аридном регионе дефицитная и жизненно необходимая влага при обычном, чрезмерно техногенном, несберегающем и лесонезащищенном агроприродопользовании. Это большой и пока слабо используемый резерв стабилизации аграрного производства, роста урожайности. По данным гидрологических исследований комплексное агролесомелиоративное или ландшафтно-кластерное управление и преобразование гидрологического режима незащищенных (открытых ветрам, суховеям и метелям) полей, приводит не только к большому количественному, но и к вероятным существенным качественным изменениям сохраненной в защищенных агроландшафтах воды. Проведенный нами анализ условий и факторов непродуктивных потерь атмосферных осадков на ветро-метельную сублимацию (возгонку) и ветровой

снос-перенос снега на больших равнинных незащищенных полях и при физическом испарении с поверхности почвы и надземных частей растений показывает, что существование различных изотопов водорода и кислорода порождает наличие разных изотопных модификаций или изотопных фракций молекул воды, обладающих разными физико-химическими свойствами, в силу чего они будут сублимироваться и испаряться при разных воздействующих условиях. Теоретический аспект этих процессов фракционирования изотопных модификаций молекул воды базируется на следующем фундаментальном принципе: молекулы воды, состоящие из наиболее легких изотопов водорода и кислорода, по своей природе являются более подвижными и активными, легче поддаются возбуждению внешними источниками воздействия или активируются меньшим количеством внешней энергии. Иными словами, в процессах энергомассопереноса молекул воды, в первую очередь возбуждаются и испаряются (сублимируются) наиболее легкие по молекулярному весу фракции молекул воды. Таким образом, при сублимации и испарении, теряются фракции молекул легкой, протиевой воды (протий – самый легкий изотоп водорода, ядро которого состоит из одного протона), а остаются молекулы тяжелой или дейтериевой воды (дейтерий – тяжелый изотоп водорода, в составе ядра которого один протон и один нейтрон). Следовательно, применяя методы агролесомелиорации и ландшафтно-кластерные системы управления, защиты и преобразования гидрологических режимов агроценозов и агроландшафтов, мы сохраняем для продуктивного использования (для производства сельхозпродукции и для питьевых целей родниковой и колодезной воды) легкую, протиевую, наиболее ценную для всего живого воду [8, 11-13, 19]. Тем самым мы оздоравливаем степную засушливую и водodefицитную среду жизнеобитания многих людей. По существу, лесомелиорация степного пояса с агролесомелиорацией пахотных земель есть лесофитобиологизация степных агроэколандшафтов, выступающая как перспективная стратегия, направленная в будущее, по биогенному улучшению изотопного фракционирования состава природных вод и биосистем этого жизненно важного обширного субрегиона.

Вода, несмотря на свою кажущуюся простоту состава химической формулы (H_2O) – одно из самых удивительных и загадочных веществ в Мире. Вода – это главная активная среда и условие самоорганизации рельефа поверхности суши, живой материи, биосферы, основное «рабочее тело» терморегуляции земного шара, его ландшафтной сферы. Всё живое на 2/3 состоит из атомов водорода, на 1/4 из атомов кислорода и на 1/10 из атомов углерода. Известно, что молекула воды состоит из 2 химических элементов – водорода и кислорода, каждый из которых имеет несколько изотопов. Как правило, вещество с более тяжелыми изотопами обладает меньшей физико-химической активностью. Разнообразие условий среды благоприятствуют изменчивости

изотопного состава природных вод, их фракционирования в разных географических условиях при различных гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических и биологических процессах с фазовыми переходами в системе «жидкость – пар – твёрдое тело (лёд, снег) – пар».

В природе и природных водах водород представлен смесью трёх изотопов: одного лёгкого (наиболее распространённого) – протия (^2H , H) и двух тяжёлых – дейтерия (D, ^2D), - стабильного, нерadioактивного, и трития (^3T) – нестабильного, радиоактивного, встречается в природе в ничтожном количестве. Особое значение имеет дейтериевая или тяжёлая вода, в химический состав молекулы которой входит один или два атома дейтерия – HDO и D₂O (в природе – как малая примесь к обычной «лёгкой» или протиевой воде). Она не радиоактивна, но обладает особыми свойствами (используется в ядерной физике), замедляет физические, химические, биохимические, биофизиологические и другие процессы. На долю дейтерия в природных водах приходится 0,15 – весовых процента или 1 атом дейтерия на каждые 4000 атомов протия. Кислород также представлен несколькими изотопами, что влияет на молекулярный вес и активность модифицированных молекул воды. Это соотношение в разных условиях различно из-за различий свойств протия и дейтерия; процесс природного разделения молекул воды с разным изотопным составом получил название природного фракционирования, сепарации или сегрегации. Процесс обогащения воды дейтериевой фракцией называется дейтеризацией.

Установлено (И. Киршенбаум, В.М. Мухачёв, Ю.А. Поляков, О.В. Мосин, И. Игнатов и др.) [8, 12, 20], что повышенные концентрации тяжёлой воды отрицательно влияют на всё живое, а, следовательно, и на человека – на его физиологию, иммунитет, здоровье [11, 13], процесс старения и продолжительность жизни. Дейтериевая вода понижает активность биохимических и биофизических процессов. Отсюда следствие – человек должен предпринимать всё возможное по снижению концентрации дейтерия в питьевой воде и пище.

Большой научный и практический интерес представляют антропогенные воздействия на изотопный состав поверхностных, почвенных, грунтовых и биогенных (в биопродукции) вод в процессе аграрного природопользования. Целесообразны такие действия человека в природопользовании, которые предотвращают или ослабляют процессы усиленной или чрезмерной дейтеризации природных вод и биопродукции, в аридных регионах [1, 2, 10, 14]. Эта генеральная идея должна лежать в основе экологобезопасного агроприродопользования [1, 7, 10, 15].

В работе выдвигаются некоторые теоретические аспекты решения этой проблемы и практические направления реализации. В частности, предлагается метод лесофитоаграрной биологизации бассейновых ландшафтов в качестве эффективного средства антидейтеризации гидрологического режима (природных вод агроэколандшафтной

геосистемы), для использования «дейтериевой метки» при исследованиях разнообразных процессов в ландшафтах, а также при мониторинге природных и искусственных агробиоландшафтных геосистем. Предпринята попытка на основе теоретических физико-химических предпосылок и по результатам опубликованных экспериментальных исследований В.С. Брезгунова, В.В. Нечаева, А.И. Бродского, Л.С. Власовой, А.Д. Есикова, Дж. Мартинека, О.В. Мосина, Д. Смита, В.И. Ферронского и др. [7, 15, 20], провести прогнозно-ориентировочные расчёты изотопного фракционирования атмосферных осадков, природных вод и биопродукции в аридно-континентальных ландшафтах (аглоландшафтах) степного субрегиона Европейской части России. Сделана попытка прогнозно-ориентировочно оценить методы агролесомелиоративного (ландшафтно-кластерного, биогенного или биосинергетического) воздействия и управления этим процессом в катенно-бассейновых лесофитоаграрных консолидированных ландшафтах через управление элементами местного водного баланса [15].

Лесомелиорация и дальнейшая биологизация агроландшафтов позволяют целенаправленно и экономно использовать местные водные ресурсы, существенно уменьшая непроизводительные потери её наиболее ценной – протиевой фракции во всех звеньях круговорота: при физическом испарении, ветро-метельной сублимации, других фазовых переходах и на стадии прохождения поверхностного стока. Огромный аридный субрегион Европейской части России, включающий лесостепь, степь, сухую степь и полупустыню – главная житница России, арена активного фракционирования природных вод и биопродукции преимущественно в сторону их усиленной дейтеризации. Малое количество атмосферных осадков (200-550 мм), большое количество тепла и света, жаркий и сухой климат с высокой испаряемостью (600-1000 мм), ярко выраженный ветровой режим (метели, суховеи, пыльные бури и т.д.) – всё это благоприятствует ускоренному испарению воды и, в силу физических особенностей атомно-молекулярного состава, в первую очередь, лёгкой, протиевой фракции, что приводит в этом регионе к общему фоновому обогащению местных природных вод и живой материи изотопами дейтерия.

Показаны теоретико-прогнозные аспекты, особенности и закономерности изотопного фракционирования природных вод в разных звеньях круговорота, дана физико-химическая сущность процессов фазовых переходов в системе «жидкость (лёд) – пар» или «пар – жидкость (лёд)». Приведены особенности изотопного фракционирования атмосферных осадков над континентами и связанное с этим обеднение океанического пара тяжёлыми изотопами за счёт, так называемого, «континентального эффекта»: при движении облаков вглубь континента происходит многократное выпадение осадков, их повторное испарение и конденсация, сопровождающиеся всё более глубоким фракционированием атмосферных вод, – по мере продвижения

облаков в глубь континента наблюдается общая тенденция их обогащения лёгкой протиевой водой и общим снижением содержания дейтерия. По уравнению Крейга построены прогнозные кривые годовой концентрации дейтерия ($\delta D\text{‰}$) в атмосферных осадках, их сезонные флуктуации (рис. 3). Так, в бассейне р. Волги среднегодовые концентрации дейтерия в атмосферных осадках колеблются от

$\delta D = -115\text{‰}$ в Перми до -95‰ в Самаре. В Волгограде и Астрахани δD составляет $-75-70\text{‰}$. В бассейне реки Дон $\delta D = +80$ $+63\text{‰}$, р. Урала $\delta D = -98\text{‰}$, р. Кубани $\delta D = -59\text{‰}$. Сезонные колебания дейтериевой фракции в атмосферных осадках определённого пункта весьма значительны (рис. 3). Так, для Самары, δD зимн. = -130‰ , а δD летн. = -58‰ , для Волгограда δD зимн. = -105‰ , δD летн. = -34‰ и т.д.

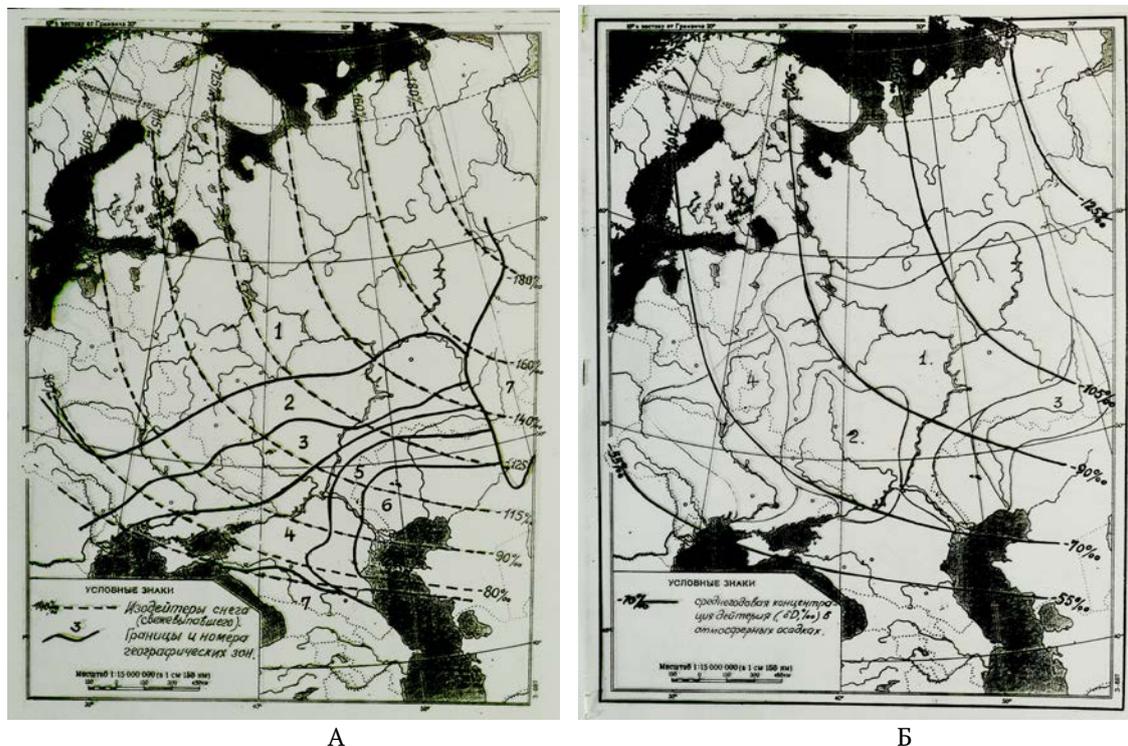


Рис. 3. Расчётно-прогнозные содержания дейтерия ($\delta D\text{‰}$) в атмосферных осадках: А – в свежеснеге, Б – в среднегодовых осадках

Впервые показан механизм и даны ориентировочно-прогнозные величины обогащения оставшегося неиспарившегося снега изотопами дейтерия в процессе ветро-метельной сублимации (возгонки). Составлена карто-схема изодейтер (линии с одинаковой концентрацией дейтерия в снежном покрове) для европейской части России в свежеснеге. К концу зимы снег за счёт ветро-метельного переноса и сублимации (возгонки) преимущественно теряет лёгкую (протиевую) фракцию, обогащается (+) дейтерием на $\delta D +15\text{‰} - +60\text{‰}$.

Показана специфика и особенности изотопного фракционирования поверхностных вод и суши во всех звеньях водного баланса и круговорота. Составлен ориентировочный прогноз концентрации дейтерия в весеннем паводочном и летнем меженином стоке основных притоков бассейнов рек Волги, Дона, Днепра, Урала и Кубани. Рассмотрены особенности изотопного сверхфракционирования поверхностных вод в замкнутых бессточных и малопроточных водоёмах (озерах, прудах, водохранилищах). Предложена версия механизма изотопного фракционирования почвенных вод и верхнего горизонта грунтовых вод и верховодки, их связь с

природными водами, ландшафтами и зональными условиями.

Рассмотрен механизм биогенного фракционирования в природных и антропогенных биогеоценозах и биогеоландшафтах, методы управления этим процессом биологизацией ландшафтов. Ориентировочные расчёты по моделям подтверждают возможности такого воздействия и целенаправленного управления, что открывает большие возможности на ближайшее будущее. По прогнозным расчётам, в биологизированном лесофитоаграрном (агрофитолесном, лесоаграрном) ландшафте концентрация дейтерия в продуктивной влаге (и биопродукции) ниже, чем в техногенном. В лесостепи в техногенном ландшафте почвенная продуктивная влага обогащается дейтерием на 35‰ (при 75‰ -ом фракционировании) до величины -62‰ . В степной зоне техногенный агроландшафт увеличивает концентрацию дейтерия за счёт непродуктивных расходов (потерь) на 40‰ до величины в продуктивном (транспирационном) расходе $\delta D = -45\text{‰}$, а в биологизированном лесоаграрном обогащение продуктивной влаги дейтерием составляет ориентировочно 15‰ , общая концентрация δD прод. = -66‰ . В целом по аридному субрегиону (сухая степь + степь

+ лесостепь), ориентировочная концентрация дейтерия в продуктивном расходе техногенного агроландшафта составляет δD техн. = - 54‰, а в биологизированном лесоаграрном δD биолог. = - 73‰ (δD = 19‰ при 75%-ном фракционировании).

По расчётам лесофитобиологизация агроландшафтов снизит дейтеризацию природных вод в 1,3-2,0 раза, на 90-190 мм и более повысит влагообеспеченность почв и растений (продуктивная влага) за счёт существенного целенаправленного сокращения непроизводительных потерь природных вод, преимущественно легкого противевого состава, наиболее полезных для всего живого. Вследствие этого большая часть лёгкой («живой») воды пойдёт на формирование тканей растений и животных, а по трофическим цепям и через питьевую воду – в ткани людей. Это, несомненно, приведёт существенному оздоровлению и улучшению экологической ситуации для обширного аридного субрегиона. Лесофитобиологизация агроландшафтов, создание оптимально лесомелиорированных агроэколандшафтов – эффективное и перспективное направление экологического безопасного агроприродопользования с целенаправленным управлением изотопного фракционирования природных вод и биосистем, оздоровления гидрологии и экологии аридных регионов.

Выводы: агролесомелиоративное или ландшафтно-кластерное комплексное воздействие и управление гидрологическим режимом степных равнинных территорий с незащищёнными до этого от ветров, суховеев и метелей полями (агроценозами) и бассейновыми агроэколандшафтами, является эффективным средством его существенного преобразования и улучшения. Изменения затрагивают все приходно-расходные элементы водного баланса, значительно увеличивая приходные и сокращая непродуктивные расходные (сублимацию и снос снега, физическое испарение в тёплое время года, поверхностный сток). Незащищённые поля ежегодно, в зимний период, в результате ветро-метельной сублимации и сноса-переноса снега, теряют 40-75 мм и более снеговой влаги, а с учётом потерь на физического испарения почвенной влаги весной за период от схода снега и до кущения посевов и смыкания травостоя – порядка 70-110 мм, (что в сумме составляет 110-180 мм); при весенне-летней засухе яровые зерновые обречены на снижение ожидаемого урожая, как минимум, на 30-60% (озимые более продуктивно используют осенне-зимне-весеннюю влагу). Общие суммарные непродуктивные потери влаги с незащищённых полей достигают в среднем 250-270 мм с колебаниями в разные годы от 230 до 290 мм.

Агролесомелиоративное ландшафтно-кластерное управление гидрологическим режимом защищаемой территории, агроценозов и агроландшафтов позволяет на 50-60% сократить непродуктивные потери влаги и направить их (120-170 мм) на прибавку урожая. При этом по предварительным прогнозным расчётам ожидается качественное

улучшение природных вод региона за счёт сокращения больших непродуктивных потерь лёгкой противевого воды, происходящих, в первую очередь, из-за её высокой активности и подвижности (молекулы фракций тяжёлой воды имеют низкую активность). Сохранение лёгкой воды в гидрологическом режиме лесофитобиологизированных агроэколандшафтов на всей обширной территории степного региона будет дополнительно способствовать, наряду с другими мерами, оздоровлению среды обитания людей в этом большом и благоприятном для проживания людей регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Брезгунов, В.С. Закономерности распределения стабильных изотопов водорода и кислорода природных вод при их глобальном круговороте // В кн.: Изотопия природных вод. – М.: Наука, 1978. С. 10-45.
2. Бродский, А.И. Химия изотопов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. 595 с.
3. Буров, Д.И. Научные основы обработки почвы Заволжья. – Куйбышев, Куйбышевское. кн. изд-во, 1970. 204 с.
4. Бялый, А.М. Водный режим в севообороте на чернозёмных почвах Юго-Востока. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1971. 232 с.
5. Докучаев, В.В. Наши степи прежде и теперь (1892). – М.-Л., ОГИЗ-Сельхозгиз, 1936. 118 с.
6. Дюнин, А.К. В царстве снега. – Новосибирск: Наука, Сибирское отд., 1983. 161 с.
7. Изотопия природных вод. – М.: Изд-во «Наука», 1978. 244 с.
8. Киришенбаум, И. Тяжёлая вода. – М.: Иностранная литература, 1953. 438 с.
9. Константинов, А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1963. 592 с.
10. Кулик, К.Н. Лесофитобиологизация агроландшафтов как стратегия биогенного управления изотопным фракционированием (дейтеризацией) природных вод и биосистем в аридном субрегионе (теоретический аспект) / К.Н. Кулик, В.И. Петров, А.Т. Барабанов и др. / Мат-лы. международ. науч.- практ. конф. Волгоград, 24-27 сентября 2011 г. – Волгоград, ВНИАЛМИ, 2001. С. 190-191.
11. Мосин, О.В. Осознание воды как субстанции жизни / О.В. Мосин, И. Игнатов // Сознание и физическая реальность. – М.: Изд-во Фолиум, 2011. Т.16, № 12. С. 9-21.
12. Мосин О.В., Игнатов И. Изотопный состав воды и происхождение жизни / О.В. Мосин, И. Игнатов // Биология в школе. 2013. № 3. С. 5-16.
13. Мухачёв, В.М. Живая вода. – М.: Наука, 1975. 143 с.
14. Панов, В.И. Теоретические и практические вопросы совершенствования противоэрозионного комплекса / В.И. Панов, В.И. Петров, И.Г. Зыков // Сб. трудов Поволжской АГЛЮС «Эрозия, защитное лесоразведение и урожай». – Куйбышев: Куйб. кн. изд-во, 1982. С. 3-13.
15. Панов, В.И. Биогенно-ландшафтное управление снижением содержания дейтерия в поверхностных водах и биосистемах в семиаридно-аридном субрегионе // Мат-лы науч.- практ. конф. «Соц.-эконом. и экологич. проблемы сельск. и водн. хоз-ва», Часть 3 «Водные объекты». – М. МГУП, 2010. С. 179-185.
16. Панов, В.И. Синергетическое эрозиоландшафтоведение (теория и практика самоорганизации гидрологии

- ческих и эрозионных процессов, рельефа и ландшафтов // Мат-лы научно-практ. конф. Волгоград, 17-19 октября 2011 г. – Волгоград, ВНИАЛМИ, 2011. С. 231-240.
17. *Панов, В.И.* Кластерно-синергетическое влагоберегающее агроприродопользование с лесофитомелиорацией // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Агрономия и лесное хозяйство. 2012. № 2 (23). С. 67-73.
18. *Панов, В.И.* Потери атмосферных осадков с незащищённых полей в степном засушливом субрегионе, их существенное снижение и стабилизация гидросурсного потенциала земледелия созданием лесомелиорированных (лесоаграрных) бассейновых агроэколандшафтов // Известия Самарского научного центра РАН. Том 18, № 2(2), 2016. С. 472-478.
19. *Тейс, Р.В.* Роль воды в распределении изотопов кислорода и водорода в природе // Диссерт. на соиск. уч. ст. к.х.н. – М.: Институт геохимии и аналитической химии им. Вернадского, 1958. 24 с.
20. *Ферронский, В.И.* Изотопия гидросферы / *В.И. Ферронский, В.А. Поляков.* – М.: Изд-во «Наука», 1983. 280 с.

AGRO FOREST MELIORATIVE (LANDSCAPE-CLUSTER) MANAGEMENT OF HYDROLOGICAL REGIME OF TERRITORIES, AGROECOSYSTEMS OF BASIN LANDSCAPES AND HEALTH IMPROVEMENT OF PEOPLE ENVIRONMENT IN THE STEPPE ARID SUBREGION

© 2017 V.I. Panov

Volga Region AGLOS – Branch of Federal Scientific Center of Agroecology,
Complex Melioration and Protective afforestation RAS, Samara

Steppe agricultural fields are not protected from winds, hot dry winds and blizzards in the droughty arid subregion. They it is useless annually lose about 250-270 mm of water on sublimation, physical evaporation and on the surface drain (from the average annual sum of atmospheric precipitation of 450-480 mm). Agroforest meliorative plantings and meliorative landscape-cluster systems protect fields and agrolandscapes. These methods reduce losses of water by 50-60% that allows to receive for agricultural plants 120-170 mm of padding water for a harvest increase. Forest agrarian complexes improve the hydrological mode of the protected territory, agrolandscapes. They provide in them high quality of natural waters.

Key words: *water balance, sublimation, atmospheric precipitation, surface drain, washout, wind-blizzard sublimation of snow, infiltration, moisture content, hydrological mode, forest strips, technogenic and cluster-synergetic agrarian environmental management, catena, erosion of soils, catchment basin, light water, isotopes*