

**«РАЗВИТИЕ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И СОХРАНЕНИЯ
БИОРАЗНООБРАЗИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА В АФРИКЕ»**

Шабанов В В¹. д.т.н. проф;

Бондарик И.Г². к.г-м.н. главный н.с..

¹Проблемная лаборатория РГАУ-МСХА; 515vvsh@gmail.com ;

²ВНИИГИМ РАН

Аннотация.

Настоящая статья продолжает серию работ, которые были представлены авторами на предыдущих конгрессах и веб-бинарах МКИД [https://icid-ciid.org/inner_page/183/] и размещены на сайте ПЛ РГАУ - (<https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/nauchnye-podrazdeleniia/problemnaia-laboratoriia>)

В предыдущих работах обсуждались общие направления развития мелиорации и водного хозяйства в условиях изменения климата на примере Российской Федерации. В данной статье конкретизируются эти вопросы применительно к Африканскому континенту.

Ключевые слова: Африка, климат, голод, мелиорация.

ВВЕДЕНИЕ

Предварительные исследования, на примере обоснования необходимости мелиорации в Бурунди [1; 2; 3; 4; 5], показали возможность применения разработанной методологии в других районах континента. Для этого необходимо оценить уровень воздействия на основные факторы внешней среды при изменении климата, в первую очередь на водный режим.

В связи с тем, что этот процесс многопараметрический, нужно выбрать показатели, которые будут, с одной стороны, интегрально характеризовать изменения условий внешней среды, существенно влияющих на продуктивность сельскохозяйственных культур, а с другой, нужно найти интегральный показатель, характеризующий деятельность биоценозов водосбора. Это позволит осуществить управление природно-антропогенной системой мелиоративными методами.

В качестве такого параметра для сельскохозяйственных земель была выбрана величина продуктивных влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы, а для экологических систем водосбора (бассейна реки) величина изменения годового стока реки в процессе изменения климата.

Прогноз годового стока при изменении климата выполнен Институтом водных проблем РАН [<https://www.iwp.ru/about/news/ko-dnyu-rossiyskoy-nauki-izbrannye-rezultaty-2021-goda/otseneny-globalnye-izmeneniya-v-21-veke-summarnogo-ispreniya-s-poverkhnosti-sushi-i-rechnogo-stoka-/?ysclid=lrrok59i3j152921282>].

На карте «Пространственное распределения возможных изменений в 2068–2099 гг. климатических значений слоя стока, (мм/год)» показано, что на севере африканского континента (кроме побережья) произойдет некоторое увеличение стока. В экваториальной зоне (примерно в бассейне Нигера) – увеличение стока.

В бассейне Конго - уменьшение стока. Учитывая, что реки Конго и Нигер (наравне с Амазонкой) вносят существенный вклад в образование кислорода на Земле, изменение объема стока может привести к изменению бассейновых экосистем и изменению интенсивности (на определенное время, 6-8 лет) процессов фотосинтеза.

Такой прогноз дает основания ожидать изменений водного режима на сельскохозяйственных землях, что может повлечь проблемы с продовольствием. Кроме того,

изменения увлажнения природных биоценозов может привести к потере экологической устойчивости природных систем, А это усугубит процессы воспроизводства кислорода природными системами при фотосинтезе и приведет к необходимости интенсификации переносов воздушных масс на большие расстояния (ураганы, тайфуны и пр.).

МЕЛИОРАЦИЯ

В предыдущих работах было показано, что при изменении природных условий необходимо заблаговременное развитие точной мелиорации [7] и точного водного хозяйства [6], как инструментов, зеленой экономики.

Последовательность шагов развития этой деятельности показана в материалах, представленных в [6]

https://www.timacad.ru/uploads/files/20221114/1668414167_razr_EVOIZE.pdf

и в разработке https://www.timacad.ru/uploads/files/20230407/1680861747_vidy_melior.pdf

Сельскохозяйственная мелиорация, как инструмент решения продовольственной проблемы Африки.

Можно предложить два направления решения продовольственной задачи. Первое направление – подбор мест и времени года для культур с учетом климатических условий, почвы, уклонов, экспозиций и уровня грунтовых вод. Второе направление – активное изменение условий внешней среды (мелиорация), т. е. создание оптимального мелиоративного режима для культуры в любом месте и в любое время года.

Для решения поставленной задачи используются следующие подходы: первый на основе расчета водного режима почв и оценки относительной продуктивности сельскохозяйственных культур проводится размещение их в пространстве и во времени (районирование) (методика В. В. Шабанова); второй – на основе оценки эффективности

орошения различных сельскохозяйственных культур в различные периоды года, рассматривается возможность круглогодичного земледелия.

Оба подхода реализуются методами математического моделирования с использованием программы «Водный режим и продуктивность» (разработчик А. И. Голованов) [8]. С помощью этой системы моделей, на основе комплексных входных данных (климатические геологические, почвенные и свойства растения) решаются поставленные задачи.

В этой системе одним из важных элементов, является количественное описание мелиоративного режима одного самостоятельного направления - управления почвенным плодородием.

Для учёта этого обстоятельства, академиком Айдаровым И.П. и профессором Головановым А.И. было введено понятие - "мелиоративный режим". Они определили его следующим образом: *"Применительно к сельскохозяйственным землям мелиоративный режим - это совокупность требований к управляемым факторам почвообразования, роста растений и воздействий на окружающую среду, которые должна обеспечить система мелиоративных мероприятий для достижения поставленной цели"*. [1]

Количественное описание мелиоративного режима

В семидесятые годы [10, 11, 12], было предложено уравнение "зависимости продуктивности растений от условий внешней среды". При этом было установлено, что требования растений (мелиоративный режим) совпадает с динамикой условий внешней среды, географического места, в котором это растение (или биологический объект) произошло (создавалось) [9].

В дальнейшем, многочисленные исследования показали возможность использования такого подхода для описания и других живых систем.

Таким образом, задачу количественного описания мелиоративного режима можно сформулировать следующим образом: *определить оптимальные условия для существования*

(продуцирования) живой системы (растение, почвенная биота, экосистема) во времени и установить ширину оптимальных диапазонов жизнедеятельности, которые можно использовать при мелиоративном регулировании любого фактора внешней среды, для получения заданного уровня продукции.

Количественное уравнение мелиоративного режима биологических систем на i -тый момент времени имеет следующий вид [6]:

$$S(\omega) = \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{opt}}} \right)^{\gamma \omega_{\text{opt}}} \left(\frac{\omega_{\text{max}} - \omega}{\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{opt}}} \right)^{\gamma (\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{opt}})} \quad (1)$$

Где, $S_i(\omega)$ - зависимость относительного урожая от фактора внешней среды. Например, от продуктивных влагозапасов в i -тую фазу вегетации. При нормировании на полную влагоемкость, вид это уравнение упрощается.

Параметры уравнения (ω_{opt} ; γ) подбираются для каждого биологического объекта индивидуально, на основе нормативных или экспериментальных данных.

«Оптимальное» значение фактора ω_{opt} - это величина фактора внешней среды, при максимальной продуктивности. В первом приближении, она равна полусумме ширины «квазиоптимального диапазона». Квазиоптимальный диапазон должен располагаться на таком уровне продуктивности, при котором, с одной стороны будет экономически выгодно получать данную продукцию, а с другой, технически возможно «удержать» регулируемый параметр в этом диапазоне.

На основании многочисленных экспериментов и расчетов было принято целесообразным выбирать диапазон регулирования на уровне $S=0,8$. Теоретически это можно обосновать тем, что около этой точки максимизирует первая производная функции $dS/d\omega$. А это означает, что незначительное отклонение (ошибка в управлении) влажности почвы, вне оптимального диапазона, приведет к значительным потерям урожая [6].

Так, например, диапазон саморегулирования, в котором растение чувствует себя «комфортно» по данным приведенным в [7], для разных культур в среднем за вегетационный период, в корнеобитаемом слое: составляет: для зерновых культур - 55-75% полной влагоемкости; для овощей, картофеля и корнеплодов - 60-80%; для трав - 65-85%.

Оптимальная влажность будет соответственно: для зерновых $\omega_{opt}=(0.55 + 0.75)/2=0,65ПВ$; для овощей, картофеля и корнеплодов $\omega_{opt}= 0,7 ПВ$; для трав $\omega_{opt}= 0,75 ПВ$.

В уравнении (1) имеется еще один параметр - γ , который определяет ширину диапазона саморегулирования биологического объекта.

Следует отметить, что «дикие» растения имеют более широкий диапазон саморегулирования, но меньшую продуктивность. Культурные растения, отобранные по принципу максимизации продуктивности, имеют более узкий диапазон.

В приведенном примере, он равен 0,2ПВ для всех культур. В случае нестационарного мелиоративного режима (когда учитывается изменение мелиоративного режима по фазам вегетации) оптимальное значение и ширина диапазона саморегулирования меняются в зависимости от фазы развития растения.

Расчет γ может быть сделан аналитически.

Формула для расчёта коэффициента саморегулирования γ от диапазона саморегулирования $(\varphi'' - \varphi')$ в уравнении $S(\varphi)$, имеет вид:

$$\gamma = \frac{\ln S}{\varphi_{opt} \ln \frac{\varphi}{\varphi_{opt}} + (1 - \varphi_{opt}) \ln \left(\frac{1 - \varphi}{1 - \varphi_{opt}} \right)} \quad (2)$$

где, S – относительная продуктивность биологического объекта, $S < 1$;

γ – коэффициент саморегулирования биологического объекта;

$\varphi' \div \varphi''$ – границы оптимального диапазона ($S=0,8$).

φ_{opt} – оптимальная величина фактора (приблизённо $\varphi_{opt} = \frac{\varphi'' + \varphi'}{2}$);

Так, например, при $\varphi_{opt} = 0,5$ и $\varphi' = 0,4$ (левый край оптимального диапазона), а $\varphi'' = 0,6$ (правый край оптимального диапазона), $\gamma = 1,69$.

Формула (2) будет иметь следующий вид (для $\varphi' = 0,4$) :

$$\gamma = \frac{\ln 0.8}{0,5(\ln \frac{0,4}{0,5}) + (1-0,5)\ln(\frac{1-0,4}{1-0,5})} = 1,69;$$

Аналогичное значение γ , будет и для $\varphi'' = 0,6$.

Уравнение (1) для этого (осредненного во времени вегетации) мелиоративного режима может быть записано в виде:

$$S = \left(\frac{\omega}{0,5}\right)^{1,69 \cdot 0,5} \cdot \left(\frac{1-\omega}{1-0,5}\right)^{1,69(1-0,5)} \quad \text{или}$$

$$S = \left(\frac{\omega}{0,5}\right)^{0,845} \cdot \left(\frac{1-\omega}{0,5}\right)^{0,845}$$

Легко видеть, что при $\omega = \omega_{opt}$, $S=1$. Подставляя различные значения фактора, можно получить все значения функции $S_{cp}(\omega)$.

Следует помнить, что мы рассмотрели однофакторную функцию, но мелиоративный режим меняется с возрастом биологической системы и зависит и от других факторов, например интенсивности солнечной радиации.

Эти факторы можно учесть, построив функции мелиоративного режима для лет различной обеспеченности, предполагая, что в засушливые годы солнечная радиация будет интенсивнее, чем во влажные. Пример такого построения, был показан в одной из работ [9, стр. 95].

Пример реализации методики обоснование необходимости мелиорации в бассейне реки Русизи (Бурунди).

Бассейн реки Русизи – это береговая равнина с плодородными аллювиальными почвами Республики Бурунди. В этом регионе факторы жизни растений (температура воздуха, атмосферные осадки и относительная влажность воздуха) во влажный сезон благоприятны. В сухой сезон требуется орошение в связи с малым количеством осадков. Анализ многолетних данных показывает, что среднемесячные температуры имеют тенденцию к некоторому повышению, осадки и относительная влажность воздуха более постоянны.

Анализ многолетних данных температуры воздуха и относительной влажности показывает, что кривые распределения этих случайных величин близки к нормальному закону распределения. Эти факторы внешней среды бассейна реки Русизи благоприятны для развития сельскохозяйственных культур во влажный сезон года. В сухой сезон в связи с практическим отсутствием осадков, высокой испаряемостью и большим коэффициентом стока влажность почвы для роста и развития растений будет, по-видимому, недостаточной. В сухой сезон без орошения продуктивность земледелия мала. Наблюдается тенденция к увеличению среднего месячного температурного воздуха на $0,95^{\circ}\text{C}$ за 30 лет. Существенного изменения продуктивности сельскохозяйственных культур при таком изменении параметров внешней среды ожидать не приходится. В зависимости от места расположения посева (склоны, низина, плоский водораздел), а также от экспозиции склона эффект изменения температур может усилиться.

Относительная средняя годовая урожайность без орошения: $У_{отн.мах} = 0,47$; $У_{отн.мин} = 0,42$; разница небольшая – $\Delta У = 0,05$.

Относительная средняя годовая урожайность с орошением во всех вариантах получается в 2 раза больше, чем без орошения. В сухой сезон относительная урожайность с орошением получается в среднем для всех вариантов в 18 раз больше, чем без орошения ($У_{отн.мах} =$

0,91...0,95). С орошением среднегодовая относительная урожайность во всех вариантах практически постоянна и равна 0,8, что подтверждает адекватность работы программы «Влагообеспеченность и продуктивность», так как теоретически оптимальный диапазон «настраивается» на относительную продуктивность 0,8. Максимальная оросительная норма получается при выращивании картофеля («влаголюбивой» культуры) во все сезоны и она равна 740 мм. Минимальная оросительная норма при выращивании одной пшеницы во всех сезонах – 506 мм. При выращивании разных культур во время года, минимальная оросительная норма наблюдается при ротации: «картофель – пшеница – картофель – пшеница» - оросительная норма, в этом случае, составляет 587 мм. Все это показывает, что в бассейне реки Русизи (Республика Бурунди) при орошении можно заниматься сельским хозяйством круглый год. Можно менять культуры, но наиболее выгодным вариантом для обеспечения продовольственной безопасности является ротация «картофель – пшеница – картофель – пшеница» для 1, 2, 3 и 4-го сезонов. Используемая вычислительная система («Водный режим и продуктивность») обладает широкими возможностями, адекватно реагирует на изменение начальных условий и дает возможность планировать развитие мелиорации (на основе оценки относительной продуктивности) в любых географических районах.

Экосистемная мелиорация, как инструмент решения экологических проблем Африки.

Экосистемная мелиорация природных и природно-антропогенных экосистем, в период изменения климата, поможет стабилизировать изменяющиеся условия и снизить отрицательные эффекты, связанные с борьбой за ресурсы, миграцией, снижением депонирования углерода и снижения «производства» кислорода при фотосинтезе.

Для развития мелиорации экосистем необходим прогноз развития этого нового научно-технического направления в комплексной мелиорации земель и становление критериев комплексной эффективности. Такими критериями могут быть «стоимость устойчивости экосистемы», «стоимость плодородия», «стоимость почвенной биоты»,

«стоимость произведенного кислорода», «стоимость поглощенного углерода» (уже рассчитывается), «стоимость красивого пейзажа» и др.

Нужно отметить взаимосвязь этого направления с ноосферным преобразованием (восстановлением) природы. Поэтому следует рассматривать такой подход, как основу для прогноза развития научно-технического прогресса.

Вместе с тем, обосновывать необходимость проведения мелиорации экосистем достаточно сложно. В первую очередь, это касается построения и параметризации функции мелиоративного режима экосистемы. Поиск «интегрального» фактора внешней среды, от которого зависит «продуктивность» экосистемы, пока не завершен. Пока нет консенсуса о том, что можно считать «продуктивностью» экосистемы.

В связи с этим предлагается рассматривать экосистемы, объединенные в единый комплекс и функционально зависящие от одного интегрального показателя внешней среды. Таким комплексом экосистем, является «экосистема водосбора», которая зависит от годового стока реки. А критерием эффективности экосистемы водосбора можно считать количество созданного на водосборе кислорода в процессе фотосинтеза. Количество кислорода линейно связано, с «образованным» в единицу времени, количеством кислорода, поэтому измеряя «фотосинтезирующую биомассу» дистанционными методами (дроны, спутники и т.д.), можно оценить количество произведенного кислорода и поглощенного углерода.

Для экосистем (экосистемное водопользование), мелиоративный режим – это ***совокупность требований к факторам среды, формирующим экологическую систему на водосборе (водобмен, почвообразование, рост растений и пр.), которые должна обеспечить система водохозяйственных мероприятий для достижения поставленной цели.***

В простейшем случае, *интегрирующим фактором внешней среды, для экосистем водосбора, может быть **объем стока***. Однако, сток в замыкающем створе реки, является как бы «избыточным» и, учитывая высотную неоднородность водосбора, показывает, для какой части экосистем водосбора были созданы оптимальные условия (в рассматриваемом случае –

условия для фотосинтеза).

Структура количественной зависимости мелиоративного режима экосистем аналогична структуре уравнения мелиоративного режима для сельскохозяйственной мелиорации.

ВЫВОДЫ

1. Планируя системы мелиорации и водного хозяйства при изменении климата, необходимо учитывать не только требования (мелиоративные режимы) сельскохозяйственных культур, но и требования почвенной биоты и других живых компонентов экосистем.
2. Мелиоративные режимы могут быть описаны функциональной зависимостью, параметры которой определяются экспериментально или теоретически
3. Аргументы функции мелиоративного режима (управляемый фактор) выбираются исходя из условий поставленной задачи.
4. При мелиорации экосистем целесообразно вводить адекватные критерии эффективности такие как: «стоимость устойчивости экосистемы», «стоимость плодородия», «стоимость почвенной биоты», «стоимость произведенного кислорода», «стоимость поглощенного углерода» (уже рассчитывается), «стоимость красивого пейзажа» и др. Для этого необходимо совершенствовать законодательство и оплачивать эти экосистемные услуги фермеру.
5. Целесообразно модернизировать структур «Схем комплексного использования водных ресурсов» с учетом требований экосистемного водопользования.
6. Авторы благодарят доктора Нийонзима Н., за тщательно проведенные исследования.

БЛАГОДАРНОСТЬ. Авторы благодарят доктора Нийонзима Н., за тщательно проведенные расчеты, результаты которых изложены в совместных исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованов А.И., Шабанов В.В., Нийонзима Н. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ БАССЕЙНА РЕКИ РУСИЗИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР (РЕСПУБЛИКА БУРУНДИ). /Природообустройство. 2013. № 4. С. 15-20.
2. Шабанов В.В., Нийонзима Н. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ РУСИЗИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БУРУНДИ /Природообустройство. 2012. № 3. С. 30-35.
3. Шабанов В.В., Нийонзима Н. БЕДНОСТЬ В БОГАТОЙ ПРИРОДЕ. /ВИНИТИ. Депонированная рукопись № 309-B2012 16.07.2012
4. Шабанов В.В., Нийонзима Н. ВОЗМОЖНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО РЕСПУБЛИКИ БУРУНДИ /ВИНИТИ Депонированная рукопись № 313-B2012 20.07.2012
5. Шабанов В.В., Нийонзима Н. ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ ПРОБЛЕМА И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СТРАН ЦЕНТРАЛЬНОЙ АФРИКИ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БУРУНДИ./ ВИНИТИ Депонированная рукопись № 310-B2012 16.07.2012
6. Шабанов В.В., Исаева С.Д., Стрижников О.А., Бондарик И.Г ЭКОСИСТЕМНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ТОЧНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ – ОСНОВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ. Эффективное водопользование при орошении: теоретические и прикладные аспекты / С. Д. Исаева, А. Л. Бубер, А. О. Щербаков [и др.]. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2022. – с.241 -248. – ISBN 978-5-907464-26-1. – EDN PQZBJP.
http://www.vniigim.ru/download/library/2022/sbornik_kch_2022.pdf

7. Шабанов, В. В. Некоторые аспекты точной мелиорации / В. В. Шабанов, А. И. Голованов // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 92-96. – EDN AWUSJT.
8. Мелиорация земель: Учебное пособие / А. И. Голованов, И. П. Айдаров, М. С. Григоров [и др.]. – 2-е издание, исправленное и дополненное. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 832 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1806-0. – EDN ZPOBWR.
9. Шабанов, В. В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет / В. В. Шабанов ; Ответственный редактор акад. ВАСХНИЛ Б.Б. Шумаков. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1981. – 142 с. – EDN TZRBNT.
<http://elib.timacad.ru/dl/full/f42.pdf/info> (дата обращения 15.02.25)
10. Аверьянов С.Ф., Шабанов В.В. Общая схема исследований методов мелиорации среды обитания растений//Проблемы мелиорации Полесья. Ч 1. - Минск, 1971. - С.188-194.
11. Шабанов В.В. Системный подход к разработке методов комплексного мелиоративного регулирования//Применение системного анализа в ирригации и дренаже. - М., 1976. - С.45-51.
12. Шабанов В.В. Система задач и моделей требований сельскохозяйственных растений к условиям внешней среды при разработке методов мелиоративного регулирования//Комплексные мелиорации. - М., 1980. - С.72-90.
13. Шабанов, В. В. Биоклиматическое обоснование мелиораций / В. В. Шабанов. – Ленинград : Российский государственный аграрный университет, 1973. – 169 с. – EDN SJWPTF. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_65632487_81544015.pdf (дата обращения 15.02.25)