

максимальных и минимальных значений совокупной по вертикали биомассы не поддается выраженному районированию, что объяснимо с точки зрения гидрологии озер, где движение водных масс, влекущее за собой перераспределение температуры и биогенного притока, значительно уступает морям. Кроме того, переменный уровень воды, характерный исключительно для Иссык-Куля, вероятно, усиливает хаотичность влияния внешних факторов, что закономерно отражается в случайном характере локализации удельной биомассы.

### **Библиографический список**

1. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А. Динамические модели экологических систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 286 с.
2. Пак С.Я., Абакумов А.И. Модельный способ восстановления состояния фитопланктона в вертикальном столбе воды по спутниковым данным о поверхностном слое // Информатика и системы управления. – 2014. – № 3(41). – С. 23–32.
3. Abakumov A., Izrail'skii Yu., Park S. Functioning of the phytoplankton in seas and estimates of primary production for aquatic ecosystems // Developm. Environment. Modelling. – 2015. – Vol. 27. – P. 339–349.
4. Тыныбеков А.К., Маторин Д.Н. Состояние фитопланктона озера Иссык-Куль. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2009. – 230 с.
5. Тыныбеков А. Математическая модель состояния фитопланктона озера Иссык-Куль // Международный университет Ала-Тоо. – Бишкек, 2016. – № 1. – С. 369–385.

## **УДК 581.6**

### **Прогнозирование актуальной эвапотранспирации на основе моделей скользящей регрессии (на примере сухой степи Алтайского края)**

*Е.В. Понькина<sup>1</sup>, А.А. Бондарович<sup>1</sup>, Г. Шмидт<sup>2</sup>, А. Савиных<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>АлтГУ, г. Барнаул; Россия; <sup>2</sup>Университет Мартина-Лютера Халле-Виттенберг, Хале, Германия

Эвапотранспирация представляет собой суммарный расход влаги в результате испарения из почвы и вегетационных процессов и является необходимой составляющей водного баланса. В соответствии с [1], запас почвенной влаги в момент времени  $t$   $W(t)$  (мм) при обработке данных почвенно-гидрологического мониторинга зависит от запаса

влаги в предшествующий период  $t - 1$ , совокупного ее прихода и расхода, что определяется уравнением:

$$W(t) = W(t - 1) + Precipitation(t) - Eta(t) - R(t) - S(t), \quad (1)$$

где  $Precipitation(t)$  – объем влаги, поступившей в почву за счет осадков, мм;  $Eta(t)$  – расход влаги в результате эвапорации и транспирации, мм;  $R(t)$  – поверхностный сток, мм;  $S(t)$  – инфильтрация, мм.

Формула (1) позволяет оценить общий баланс почвенной влаги  $\Delta W(t)$  на момент измерений  $t$  и оценку  $Eta(t)$ :

$$Eta(t) = Precipitation(t) - \Delta W(t) - R(t) - S(t). \quad (2)$$

Разработка прогностических и оценочных моделей  $\Delta W(t)$ , а также  $Eta(t)$  для сценарных (предполагаемых) и фактических климатических условий на некоторый период  $N$  позволяет решить ряд практических задач:

*а) оценить степень лимитированности почвенно-гидрологических факторов роста и развития сельскохозяйственных культур, наличие или отсутствие водного стресса. Это дает необходимую информацию:*

во-первых, для оценки благоприятности климатических условий и действия климата как решающего фактора, ограничившего фактическую урожайность культур, что важно при обосновании страховых выплат в системе страхования урожайности культур;

во-вторых, для регулирования мелиоративных систем и обеспечения оптимального водного режима растений;

в-третьих, для подбора возделываемых культур с учетом специфики почвенно-гидрологического режима;

в-четвертых, для подбора элементов технологии возделывания культур (глубина заделки семян, глубина рыхления и т.д.) обеспечивающих благоприятный водный режим их роста и развития.

*б) моделировать влияние климатических условий и их ожидаемых изменений на величину потенциальной продуктивности возделываемых культур, оценить ожидаемые последствия изменения продуктивности в растениеводстве;*

*в) использовать математические модели для восстановления величины  $Eta$  по известным климатическим данным.*

В рамках проекта «Кулунда» АлтГУ получил уникальное оборудование (лизиметрическая станция, компания UGT, Германия), позволяющее «напрямую», в поле оценивать величину водного баланса в почве  $\Delta W(t)$  и величину  $Eta(t)$  в режиме реального времени. Полигон наблюдений расположен на Кулундинской равнине Алтайского края (с. Полуямки, Михайловский район, ООО «КХ Партнер»). Измерение почвенно-гидрологических параметров (температура почвы, влаж-

ность, рF) осуществляется по глубинам 30, 50 и 120 см. Оценка текущего состояния водного баланса в почве проводится посредством измерения массы почвенного монолита и его изменения. Все измерения осуществляются с шагом 1 час. Стационар оборудован метеорологической станцией, измеряющей синхронно во времени с лизиметром метеоэлементы. Подробнее характеристики оборудования и особенности измеряемых данных приведены в [2].

Для Кулундинской равнины характерен засушливый климат и недостаточное увлажнение в течение вегетационного периода. Распределение осадков, как по территории, так и по сезонам является неравномерным. Для расчета  $Eta(t)$  по лизиметрическим данным достаточно вычислить фактическую массу монолита и ее изменение, показывающую непосредственно приходящую или остаточную влагу в почве с учетом поверхностного стока и инфильтрации. Соответственно, в (2)  $R(t) = S(t) = 0$ . В связи с этим, оценки фактической  $Eta(t)$  получены по редуцированной формуле:

$$Eta(t) = Precipitation(t) - \Delta W(t),$$

при этом  $Precipitation(t)$  – сумма приходящей влаги в почву (может оцениваться как положительный прирост массы лизиметра), мм; а отсутствие осадков и отрицательные приросты масс лизиметра характеризуют совокупную эвапотранспирацию  $Eta(t)$ :

$$Eta(t) = \begin{cases} 0, & \Delta W(t) \geq 0; \\ -\Delta W(t), & \Delta W(t) < 0. \end{cases}$$

Методы моделирования и оценки актуальной эвапотранспирации можно разделить на три группы: непосредственных полевых и лабораторных измерений (прямой метод); аналитический метод (физико-гидрологический подход); эмпирический метод (оценка параметров моделей на основе данных почвенно-климатических наблюдений) [3]. Первая группа включает довольно трудоемкие методы прямого измерения суммарного испарения влаги. Во второй группе наиболее известны метод водного баланса и метод теплового баланса. Эмпирические методы третьей группы основаны на установлении зависимостей различного вида между испарением и одним или несколькими метеорологическими показателями; сюда относится, например, модель Пенмана-Монтейта и методы регрессионного анализа [4-8]. Анализ теории и практики моделирования величины  $Eta(t)$  показал, что процесс эвапотранспирации в схожих почвенных условиях в большей степени определен климатом.

Предполагая, что влияние климатических факторов неустойчиво во времени в качестве наиболее подходящей формы модели рассматривается скользящая регрессия вида:

$$Eta(t) = A(n) \cdot Climat(t) + eps(t, n), \quad t = t_0 - n, \dots, t_0, \quad (3)$$

где  $n$  – объем обучающей выборки («временное окно»), сформированный в виде временного ряда из  $n$  фактических предшествующих  $t_0$  наблюдений ( $t = t_0 - n, \dots, t_0$ ); обучающая выборка затем используется для обучения модели;  $A(n) = (A_1(n), \dots, A_M(n))$  – коэффициенты модели линейной регрессии;  $Climat(t)$  – вектор-столбец  $M$  климатических переменных;  $eps(t, n)$  – ошибка.

Прогнозирование значений  $Eta(t)$  на  $k$  периодов вперед по известным, либо предполагаемым (сценарным) климатическим данным  $Climat(t)$  выполняется по модели (3) для  $t = t_0 + 1, \dots, t_0 + k$ . Соответственно, ошибка прогнозирования в точке  $k$  определена как  $eps(t_0 + k, n) = eps(k, n)$ .

**Задача.** Задача автоматического обучения модели скользящей регрессии (3) заключается в нахождении оптимального размера «окна»  $n^*$  обеспечивающего минимум средней квадратичной ошибки прогнозирования  $Eta(t)$  по модели на заданный период  $k$ :

$$n^* = \operatorname{argmin}_{n > 10 \cdot M} (\sum_{t=t_0+1}^{t_0+k} eps(t, n)^2).$$

Анализ практики регрессионного моделирования процессов эвапотранспирации показал, что часто в качестве оценки точности моделирования  $Eta$  используется величина кумулятивной (суммарной) ошибки модели на момент прогнозирования  $k$  (мм):

$$Cumul\_eps(n, k) = \sum_{t=t_0-n}^{t_0+k} eps(t).$$

Такой подход используется в задачах непрерывного мониторинга величины потерь влаги в почве (например, в течение 14 дней) с необходимостью прогноза на ближайшую перспективу (следующие 14 дней).

Апробация модели выполнена по часовым данным за вегетационный период 2015 г. В качестве независимых переменных в модели рассматривались следующие метеорологические факторы: скорость ветра (м/с), температура воздуха (°С), относительная влажность воздуха (%), атмосферное давление (Па), солнечная радиация (Вт/м<sup>2</sup>); сумма осадков, мм; в качестве зависимой переменной выступала актуальная эвапотранспирация, оцененная по данным лизиметрической установки (мм/м<sup>2</sup>).

Предварительный анализ регрессионной модели (3) показал, что модель скользящей регрессии при идентификации коэффициентов модели по методу наименьших квадратов является в целом статистически значимой, точность оценки суммарной  $Eta$  по фактическому периоду колеблется от 4 до 10%. Оптимальная база для оценки параметров модели (3) при прогнозировании на 7, 10 и 14 дней составляет  $n^* = 10, 12$  и 14 дней, соответственно. Относительная ошибка прогнозиро-

вания на  $k$ -ый период в среднем составляет 8, 10 и 12%. Увеличение «временного окна» выше найденных значений  $n^*$  не целесообразно и способствует наращиванию ошибки.

Предложенный подход прогноза и оценки эвапотранспирации может быть использован при физическом ограничении доступа к данным наземных наблюдений, или необходимости их восстановления по известным климатическим данным.

### Библиографический список

1. Майсснер Р., Бондарович А.А., Щербинин В.В., Понькина Е.В., Мацюра А.В., Пузанов А.В., Рупп Х., Шмидт Г., Штефан Э., Иллигер П., Фрюауф М., Харламова Н.Ф., Галахов В.П., Балькин Д.Н., Рудев Н.В. Методика расчета водного баланса для сухой степи юга Западной Сибири по данным международной мониторинговой сети // *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnitkiy Melitopol State Pedagogical University*. – 2016. – 6 (2). – P. 223–238.

2. Беляев В.И., Бондарович А.А., Понькина Е.В., Щербинин В.В., Шмидт Г., Мацюра А.В., Кожанов Н.А., Рудев Н.В. Температурный режим воздуха и почвы по данным метеорологической и почвенно-гидрологической мониторинговой сети в Кулундинской равнине за вегетационные периоды 2013–2016 гг. // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 3 (149). – С. 30–37.

3. Черемисинов А.А., Черемисинов А.Ю. Обзор расчетных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2016. – № 1(21). – С. 113–133.

4. Manikumari N., Vinodhini G. Regression Models for Predicting Reference Evapotranspiration // *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 2016. – V. 38 (3). P. 134–139.

5. AlJumaili K.K., Al-Khafaji M.S., Al-Awadi A.T. Assessment of Evapotranspiration Estimation Models for Irrigation Projects in Karbala, Iraq // *Eng. & Tech. Journal*. – 2014. – Vol.32, Part (A), No.5. – P. 1149–1157.

6. Sriram A. V., Rashmi C. N. Estimation of Potential Evapotranspiration by Multiple Linear Regression Method // *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. 2014. – 11 (2). – P. 65–70.

7. Honarbakhsh A., Dashtpajardi M.M., Vagharfard H. Application of Soft Computing Methods in Predicting Evapotranspiration // *Open Journal of Geology*. – 2013. – 3. – P. 397–403.

8. Helder J. F. da Silva, Marconio S. dos Santos, Jório B. Cabral Junior, Maria H. C. Spyrides. Modeling of reference evapotranspiration by multiple

linear regression // Journal of Hyperspectral Remote Sensing. – 2016. – V.6 (1). – P. 44–58.

**УДК 631.1, 519.816**

**Роль семейной формы аграрного бизнеса в реализации стратегии устойчивого развития сельского хозяйства Алтайского края**

*Е.В. Понькина<sup>1</sup>, А.С. Маничева<sup>1</sup>, А.В. Прищепов<sup>2</sup>, Д. Сан<sup>3</sup>*  
*<sup>1</sup>АлтГУ, г. Барнаул; Россия; <sup>2</sup>Университет Копенгагена, Дания;*  
*<sup>3</sup>Институт исследования аграрных проблем в странах с переходной экономикой (ИАМО), Германия*

**Введение.** Реализация концепции устойчивого развития сельских территорий связана как с созданием конкурентоспособного аграрного комплекса, стимулирования инновационной и инвестиционной активности, так и «формированием позитивного отношения к сельской местности и сельскому образу жизни» [1], сохранением природного потенциала. Доминирование коммерческих целей в деятельности сельскохозяйственных производителей приводит к нарушению баланса между экономическими, экологическими и социальными функциями аграрного бизнеса.

Одной из важных форм ведения аграрного бизнеса является – «семейный». Важным состоянием семейного бизнеса является преемственность. Наличие или отсутствие преемника бизнеса, особенно на этапах выхода на пенсию старшего поколения, может существенно отразиться на стиле руководства и организации производства, темпах развития, инновационной активности. Преемственность обеспечивает генерацию нового поколения фермеров, для которых земля, на которой они работают, является родной, «впитавших» традиции земледелия старшего поколения.

Первые научные исследования феномена преемственности в аграрном бизнесе были выполнены в 80-х гг. XX века [2], в ходе которых выявлен и обоснован «эффект наследования», который заключается в том, что молодые преемники бизнеса более склонны к внедрению инноваций, диверсификации производства и ориентированы на сохранение природного потенциала территории. Кроме того, с 2015 г. введены специальные меры в рамках программы развития сельского хозяйства стран ЕС (Common Agriculture Policy – CAP), предполагающие выплаты, как для молодых фермеров, так и специальные платежи для «кра-