

УДК 626.87

**ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СИСТЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ РАСЧЕТНОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНО-
ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Доктор техн. наук

Канд. техн. наук

Канд. техн. наук

Ж.С. Мустафаев

А.Д. Рябцев

А.А. Сагаев

Г. Султанова

Г.А. Адильбектеги

К.Ж. Мустафаев

В статье представлены структурный блок наблюдательно-расчетного мониторинга природной системы для принятия управленческих решений в сфере использования природных ресурсов. Приведены принципы, обоснование и выбор систем математических моделей расчетного мониторинга природно-технической системы, характеризующие изменение состояния параметров среды обитания человек в результате антропогенной деятельности.

Проведение систематических наблюдений за природными процессами и явлениями дало человечеству возможность прогнозировать и предсказывать состояние окружающей среды. В сфере жизнедеятельности человека различные виды и методы наблюдений, как способ познания природного процесса, основанный на относительно делительном, целенаправленном восприятии предметов и явлений окружающей действительности, являются практической их деятельностью, передающиеся от поколения к поколению. Об этом свидетельствуют блестящие образцы организации наблюдений за природной средой, описанные еще в первом веке нашей эры в «Естественной истории» Гая Секунда Плиния (старшего). Этот труд состоит из тридцати семи томов, содержащих сведения по астрономии, физике, географии, зоологии, ботанике, сельскому хозяйству, медицине, истории, являющихся наиболее полной энциклопедией знаний до эпохи средневековья. Актуальность систематических наблюдений за природными процессами и явлениями очень велика, так как процесс познания их ритмичности изменений дал возможность наблюдательному человеку с очень высокой точностью и достоверностью предсказывать ожидаемые природные явления.

В 20 веке, когда при интенсивном использовании природных ресурсов, возникла необходимость в наблюдениях за природными процессами и явлениями ввели термин мониторинг – система повторных целенаправленных наблюдений за одним или более элементами окружающей природной среды в пространственном и временном масштабе. Эти систематические наблюдения служат для принятия управленческих решений в сфере использования природных ресурсов человеческой деятельности и в том числе при использовании водных и земельных ресурсов в речных бассейнах.

В настоящее время в сфере природопользования большое прикладное значение имеет геофизический, биологический и экологический мониторинг, который с одной стороны обеспечивает наблюдения за состоянием биосферы, оценкой и прогнозом состояния, вызванного антропогенным воздействием, с другой стороны – степень воздействия с выявлением антропогенных эффектов, выявление источников и факторов воздействия [6, 8].

Геофизический мониторинг – наблюдения, контроль и прогноз возможных изменений биосферы, который состоит из двух блоков:

- метеорологического мониторинга – наблюдения за состоянием температуры и влажностью воздуха, скоростью и направлением ветра, солнечной радиацией, атмосферным давлением, количеством и продолжительностью атмосферных осадков, количеством и высотой облачности, атмосферными явлениями;
- гидрологического мониторинга – наблюдения за изменением уровня воды в реках и озерах, расходами воды в реках, объемами притока воды, сроком замерзания и вскрытия рек и озер, прохождением весенних, дождевых, селевых паводков.

Биологический мониторинг – наблюдения за состоянием биосферы с помощью биологических индикаторов, который состоит так же из двух блоков:

- биологический – наблюдения за состоянием среды и ее влиянием на живые организмы;
- санитарно-гигиенический – слежение за состоянием окружающей человека природной среды и предупреждение о создавшихся критических ситуациях, вредных и опасных для здоровья людей.

Экологический мониторинг – информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов, который состоит из трех блоков:

- биоэкологический – наблюдения за состоянием окружающей природной среды с точки зрения воздействия ее на человека и население;
- геоэкологический – наблюдения за изменением главных геосистем и преобразованием природных экосистем в природно-технические;
- социальный мониторинг – наблюдения за изменением развития общества, и его жизнедеятельности, и благосостоянием.

В соответствии с приведенными определениями и возложенными на систему функциями мониторинг включает три основных направления деятельности:

- наблюдения за факторами воздействия и состоянием среды;
- оценку фактического состояния среды;
- прогноз состояния окружающей природной среды и оценку прогнозируемого состояния.

При этом достоверность и надежность мониторинга состояния окружающей природной среды во многом зависит от качества и количества наблюдений, факторов природного процесса, характеризующих состояние окружающей среды и среды обитания человека.

Многие параметры, входящие в системы геофизического, биологического и экологического мониторинга, характеризующие природные процессы, трудно измеримы. Поэтому параметры, характеризующие состояния окружающей среды могут быть получены в результате прямых наблюдений, а некоторые вычислены через величины, полученные на основе массовых измерений (рис. 1).

В этом случае, понятие мониторинга расширяется, так как происходит не только измерение базовых параметров, но и прогноз параметров, измерение которых затруднено или невозможно [5]. Расчетный мониторинг, который осуществляется с помощью интегральных критериев, характеризующих изменений состояний параметров среды обитания человека, легко сопрягается с системой постоянных наблюдений, главное назначение которых – получение характеристик состояния природной системы. Процедура выполнения расчетного геофизического, биологического и экологического мониторинга представлена на блок-схеме (рис. 2).

Для выполнения расчетного мониторинга необходимы интегральные показатели, которые характеризовали бы изменения отдельных компонентов ландшафтов в условиях антропогенной деятельности и связь между ними. Интегральные показатели должны отражать влияние антропогенной деятельности на изменения природно-ресурсного потенциала природной

системы. Любая антропогенная деятельность, направленная на регулирование гидротермического режима агроландшафтов приводит к изменению в ту или иную сторону материального и энергетического балансов ландшафтов, связанному с дополнительным поступлением и отчуждением вещества и энергии. В результате в природной системе изменяются направленность и интенсивность геологического и биологического круговоротов воды и химических веществ, что способствует формированию компонентов природной системы с новыми свойствами, отличающихся от природной.



Рис. 1. Блок-схема мониторинга природно-техногенной системы.

В настоящее время достаточно полно разработаны математические модели отдельных природных и природно-техногенных процессов природной среды.

Для проведения расчетного почвенно-экологического мониторинга агроландшафтов можно использовать гидротермический коэффициент («индекс сухости») – $\bar{R} = R / LO_c$ по М.И. Будыко [2], характеризующий связь энергетического (R – радиационный баланс, кДж/см²) и водного баланса (L – скрытая теплота парообразования, кДж/см³ в год; O_c – атмосферные осадки, мм) природной системы.



Рис. 2. Блок-схема расчетного мониторинга природно-техногенной системы.

Важные свойства «индекса сухости» (\bar{R}) – его тесная связь с основными свойствами зональных почв, почвенно-биологическими, гидрогеологическими, гидрогеохимическими процессами и с антропогенной деятельностью [1, 10, 14]. Таким образом, если в результате мелиорации сельскохозяйственных земель изменяется гидротермический режим (\bar{R}) в пределах ландшафта, то по этим изменениям можно судить о направленности и интенсивности природных процессов, изменении состояния отдельных компонентов и ландшафта в целом: $\bar{R}_o = R_o / [L(O_c + O_p \pm g)]$, где \bar{R}_o – гидротермический коэффициент в условиях мелиорации; R_o – радиационный баланс, измененный в результате мелиорации, кДж/см²; O_p – дополнительные поступления воды в результате осуществления ком-

плексной мелиорации, мм; g – влагообмен между почвенными и грунтовыми водами, мм.

Для оценки уровня техногенных нагрузок ландшафтов в результате антропогенной деятельности (мелиорации) можно использовать интегральный показатель – экологическая трансформация водного баланса ландшафта $\mathcal{E}_{\text{вб}}$ [7, 9]:

$$\mathcal{E}_{\text{вб}} = [\alpha_{pn}(I + T) + \alpha_g \cdot E_o \pm g + \underline{P} + \underline{Q}] / O_c,$$

где \underline{P} и \underline{Q} – отток поверхностных и подземных вод за пределы агроландшафта; α_{pn} – доля растительного покрова в ландшафтах; α_g – доля водных поверхностей в ландшафтах.

В качестве расчетного гидрогеологического мониторинга можно использовать интегральный показатель – интенсивность влагообмена между почвенными и грунтовыми водами [9]: $\bar{g} = g / (O_c + O_p) = \exp(-1,5\bar{R})$ и подъема уровня грунтовых вод: $\Delta H = (w \cdot t / \mu) \cdot F_w(\bar{t}, \bar{x})$, где ΔH – подъем уровня грунтовых вод, м; w – инфильтрационное питание, м/сут; t – время начала орошения, сут; μ – недостаток насыщения почв и грунтов зоны аэрации, в долях от объема; F_w – функция, соответствующая геофильтрационным условиям; $\bar{t} = (\alpha \cdot t) / I^2$; α – проводимость пласта, м²/сут; $\alpha = (K \cdot m) / \mu$; K и m – коэффициент фильтрации и мощность водоносного пласта; I – размер орошаемого участка (массива), м; $\bar{x} = x / I$.

Для расчета мелиоративного мониторинга агроландшафтов определяется интегральный показатель – эколого-мелиоративный потенциал ландшафта (\bar{M}) [7]:

$$\bar{M} = \bar{A}_n / \bar{C}_n,$$

где \bar{A}_n – параметр, характеризующий работу, совершаемую жидкостью в процессе выпадения атмосферных осадков в системе «почва – грунтовые воды»; $\bar{A}_n = O_c / [I(R/L) - (I-t)(R/L)(I-\bar{\Delta})]$, здесь $\bar{\Delta}$ – глубина уровня грунтовых вод; $(I-t)$ – время действия инфильтрации ($t = T/365$), T – продолжительность вегетационного периода. \bar{C}_n – параметр, характеризующий степень освобождения от легкорастворимых солей верхнего слоя почвы: $\bar{C}^* = [C_o + (I-t)(R/L)(I-\bar{\Delta}) \cdot C_z / O_c] / C_{\text{дон}}$, где: C_o – начальная концентрация почвенного раствора в почвенном слое; $C_{\text{дон}}$ – допустимые

концентрации солей в почвенном растворе, которые соответствуют параметру незасоленных почв; C_2 – концентрация солей в грунтовых водах.

Почвенно-энергетическая мониторинг ландшафтов связан еще с одним интегральным показателем, характеризующим природно-ресурсный потенциал – энергия, затрачиваемая на почвообразование [4]:

$$\bar{Q} = Q / R = \exp(-\alpha \cdot \bar{R}),$$

где Q – энергия, затрачиваемая на почвообразование, кДж/см²; α – коэффициент, учитывающий состояние поверхности почвы.

В качестве расчетного гидрогеохимическая мониторинга ландшафтов можно использовать – энергетический показатель эволюционной химической трансформации растворов (Q_{xi}) [14], характеризующийся отношением молекулярной массы (M_m) химического элемента к его электронной плотности (\mathcal{E}_n), как гидротермический показатель (\bar{R}), закономерно изменяющийся по ландшафтно-климатическим зонам: $Q_{xi} = M_m / \mathcal{E}_n = \int(\bar{R})$, а также энергетический показатель химической трансформации растворов по потенциалу ионизации (Q_{xi}^i), которая определяется по формуле: $Q_{xi}^i = Q_{xi} / \sum I_u$, где I_u – потенциал ионизации, то есть энергия необходимая для отрыва электронов от атомов.

По величине «индекса сухости» (\bar{R}), определяется еще один интегральный показатель расчетного биоэнергетического мониторинга – экологическая продуктивность ландшафтов [11]:

$$\overline{ПОЗ}(\bar{R}) = \bar{S}(\bar{R}) \cdot \bar{\Pi}(\bar{R}),$$

где $\bar{S}(\bar{R})$ – биологическая продуктивность растительности:

$$\bar{S}(\bar{R}) = Y_i / Y_{max} = \exp\left[-(1/2\nu)(\bar{R} - \bar{R}_{opt})^2\right]; \bar{\Pi}(\bar{R})$$
 – биологическая про-

$$\text{дуктивность почвы: } \bar{\Pi}(\bar{R}) = \Pi_i / \Pi_{max} = \exp\left[-(1/2\nu)(\bar{R} - \bar{R}_{opt})^2\right]; \nu$$
 – эф-

фективный коэффициент саморегулирования; \bar{R}_{opt} – оптимальные значения «индекса сухости», обеспечивающие природно-ресурсный потенциал почвообразовательного процесса.

Для расчета гидрологического мониторинга можно использовать показатель использования водных ресурсов речных бассейнов (K_w):

$$K_w = W_b / W_o,$$

где W_b – объем водозабора из реки; W_o – объем годового стока реки.

В качестве математической модели расчетного экологического мониторинга можно использовать интегральные показатели [15]:

- экологическое состояние территории:

$$\bar{\mathcal{E}}_k = 1 - \exp[-(\alpha_3 \cdot \bar{g} + p \cdot \bar{\Delta})],$$

где α_3 – коэффициент, характеризующий вид загрязнения (ядохимикаты, нитраты и т.д.); p – параметр, характеризующий глубину залегания грунтовых вод; $\bar{\Delta} = \Delta/5$ – уровень грунтовых вод);

- ухудшения экологической обстановки ($\Delta \bar{\mathcal{E}}^{n+1}$) территории ниже по течению реки, которое предлагается оценивать по следующей формуле:

$$\Delta \bar{\mathcal{E}}^{n+1} \approx 1 - \exp(-q_\phi^n \cdot C_{\partial p}^n \cdot V_{\partial p}^{n-n+1}),$$

где q_ϕ^n – фильтрационные потери из оросительной сети; $C_{\partial p}^n$ – минерализация дренажного стока, г/дм³; $V_{\partial p}^{n-n+1}$ – доля объема транзитных вод, сбрасываемых в реку из сечения n в сечение $n+1$.

Для расчета социального мониторинга могут быть использованы следующие интегральные критерии, характеризующие благополучие населения в условиях антропогенной деятельности [13]:

- индекс человеческого развития: $ИЧР = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$, где X_i , X_{min} и X_{max} – соответственно фактическое, минимальное и максимальное значение продолжительность жизни, грамотность среди взрослого населения (15 лет и старше, %), совокупная доля учащихся в возрасте 5...24 лет (%), реальный ВВП на душу населения, в долларах США (по паритету покупательной способности);

- индекс дохода:

$$ИД = (\log 10X_i - \log 10X_{min}) / (\log 10X_{max} - \log 10X_{min});$$

- индекс бедности населения:

$$ИБН = [0,25(P_1^3 + P_2^3 + P_3^3 + P_4^3)]^{1/3},$$

где P_1 – процентная доля населения, не доживающего до 60 лет; P_2 – процентная доля 16-летней молодежи, не охваченной обучением; P_3 – процентная доля населения, имеющего уровень потребления ниже прожиточного минимума; P_4 – уровень безработицы в %.

Качество поверхностных вод, в мониторинге оценивается по величине комплексного индекса загрязненности вод (*КИЗВ*) для каждой группы [3]:

$$КИЗВ_j = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_{ij}}{ПДК_{ij}} \right) / n,$$

где *КИЗВ_j* – комплексный индекс загрязненности вод по *j*-ой группы;
C_{ij} – концентрация *i*-того ингредиента из *j*-ой группы; *ПДК_{ij}* – предельно-допустимая концентрация *i*-того ингредиента, соответствующая *C_{ij}*; *n* – количество показателей.

Количество показателей (*n*), характеризующих общее загрязнения водного потока необходимо оценивать по отдельным группам элементов, предварительно объединенных по идентичности, как генетическое происхождение, химическое строение, применение, одинаковость влияния и токсичность [3], т.е.

- главные ионы (*Ca, Mg, ∑(Na + K), HCO₃, SO₄, Cl*);
- биогенные элементы (*NH₄, NO₃, P_{общ}, фосфаты, Si*);
- тяжелые металлы (*Cu, Mg, Pb, Cd, Cr³, Cr⁶, Mn, Hg, Hg², Ni, Co, Sn, Bi, Mo, Fe², Fe³*);
- ядовитые вещества (*CN, SCN, F, H₂S, AS, нитробензол и другие*);
- органические вещества (*нефтепродукты, смолы, углеводы, жиры, фенолы, СПАВ и другие*).
- хлорорганические пестициды (*ДДТ, ДДД, ДДЭ, ГХЦГ, севин, ялан, дикофол, гексахлорбензол и другие*).

Для расчета экономического мониторинга можно использовать коэффициент экономической устойчивости природно-технического комплекса (*K_э*), характеризующий максимально-допустимый уровень использования природных ресурсов [9]:

$$K_э = \frac{Z_n \left[(\bar{P}_n - P_n(x)) - P_u(x) \right] - Z(x)}{Z_n (\bar{P}_n - P_n(x))},$$

где *Z_n(\bar{P}_n)* – общая прибыль природно-технического комплекса;
*Z_n(*P_n(*x*)*)* – прибыль природного комплекса в естественных условиях;
*P_u(*x*)* – общие затраты для выпуска продукции; *Z(*x*)* – ущерб.

Для определения ущерба (*Z(*x*)*), нанесенного природной системе в результате отрицательного воздействия антропогенной деятельности, раз-

работана методика его оценки, включая экологический, социально-экономический и социальный ущербы [9]:

$$Z(x) = Z_3(\bar{P}_3 - P_3(x)) + Z_{\text{эк}}(\bar{P}_{\text{эк}} - P_{\text{эк}}(x)) + Z_c(\bar{P}_c - P_c(x)),$$

где $Z_3(\bar{P}_3)$ – экономический ущерб от ухудшения качественных параметров природно-технической системы; $Z_3(P_3(x))$ – затраты, необходимые для качественного улучшения параметров природной среды; $Z_{\text{эк}}(\bar{P}_{\text{эк}})$ – экологический ущерб от ухудшения качественных параметров природно-технической системы; $Z_{\text{эк}}(P_{\text{эк}}(x))$ – затраты необходимые для улучшения экологических условий природной среды; $Z_c(\bar{P}_c)$ – социальный ущерб от ухудшения качественных параметров природной среды; $Z_c(P_c(x))$ – затраты на улучшение социальных условий природной среды;

Оценку экологической устойчивости природной системы можно представить в следующем виде [12]:

$$f = 1 - \exp\left\{-k \left[\sum_{i=0}^n k_i \left(\frac{X_i - X_{opt}}{X_{kp} - X_{opt}} \right) \right] \right\},$$

где k_i – коэффициент значимости компонентов природной среды, то есть $k_i = k_g + k_3 + k_p + k_a + k_{жс} = 1,0$ (где, соответственно, коэффициент значимости водных и земельных ресурсов, растительного мира, атмосферы, животных); k – параметр идентификации; X_{opt} – оптимальный уровень использования природных ресурсов; X_{kp} – критический уровень использования природных ресурсов, начиная с которого происходит экологическая деградация природной системы; X_i – фактическая уровень использования природных ресурсов.

Таким образом, система расчетного мониторинга может служить инструментом для принятия управленческих решений по использованию водных и земельных ресурсов, а также выполнить исследование ряда возможных ситуаций при антропогенной деятельности человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
2. Будыко М.И. Глобальная экология. – М.: Мысль, 1977. – 327 с.

3. Бурлибаев М.Ж. Теоретические основы устойчивости экосистем трансзональных рек Казахстана // Автореф. дис. ... доктор техн. наук. – Тараз, 2004. – 48 с.
4. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. – М.: Наука, 1974. – 120 с.
5. Голованов А.И., Шабанов В.В. Система математических моделей расчетного мониторинга мелиорируемых земель // Мелиорация и водное хозяйство, 2004. – №4. – С. 46-48.
6. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеоиздат, 1974. – 560 с.
7. Крейчева Л.В., Белова И.В. Значение комплексных мелиораций для формирования продуктивного и устойчивого агроландшафта // Мелиорация и водное хозяйство, 2004. – №4. – С. 44-46.
8. Мониторинг состояния окружающей природной среды // Труды 1 советско-английского симпозиума. - Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 263 с.
9. Мустафаев Ж.С. Методологические и экологические принципы мелиорации сельскохозяйственных земель. – Тараз, 2004. – 306 с.
10. Мустафаев Ж.С. Почвенно-экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане. – Алматы, «Гылым», 1997. – 358 с.
11. Мустафаев Ж.С., Адильбектеги Г.А., Сейдуалиев М.А. Экологическая оценка продуктивности ландшафтов бассейна реки Шу (Аналитический обзор). – Тараз, 2004. – 80 с.
12. Мустафаев К.Ж. Оценки устойчивости природной системы как среды обитания человека // Гидрометеорология и экология, 2003. – №3. – С. 97-110.
13. Отчет о человеческом развитии. Казахстан 2003. – Алматы, 2003. – 123 с.
14. Парфенова Н.И., Решеткина Н.М. Экологические принципы регулирования гидрогеохимического режима орошаемых земель. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1995. – 358 с.
15. Хачатурьян В.Х., Айдаров И.П. Концепция улучшения экологической и мелиоративной ситуации в бассейне Аральского моря // Мелиорация и водное хозяйство, 1990. – №12. – С. 5-12; 1991. – №1. – С. 2-9.

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
 Комитет по водным ресурсам МСХ РК
 Кызылординский государственный университет имени Коркыт-Ата
 Таразский государственный педагогический институт
 Научно-исследовательский институт водного хозяйства

**ТАБИҒИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ЕСЕПТЕЛЕТІН
МОНИТОРИНГАСЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ БЕЙНЕЛІК ЖҮЙЕСІН
ТАҢДАУ ЖӘНЕ НЕГІЗДЕУ**

Техн. ғылымд. докторы	Ж.С. Мұстафаев
Техн. ғылымд. канд.	А.Д. Рябцев
Техн. ғылымд. канд.	А.А. Сагаев
	Г. Сұлтанова
	Г.Ә. Әдильбектегі
	К.Ж. Мұстафаев

Табиғи қорды пайдалану саласындағы шешім қабылдауға арналған табиғи жүйенің бақалау және есептеуге арналған мониторингасының құрамдық бөлімі берілген. Табиғи-техникалық қысымның нәтежесі бойынша адамзаттың өмір сүретін ортасының өзгеру жағдайын мінездейтін, табиғи-техникалық жүйенің есептелетін мониторингасының математикалық бейнелік жүйесін таңдау және негіздеу мәселесі қарастырылған.