

ОБОСНОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬНО-ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ АГРОРЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЛАНДШАФТОВ
JUSTIFICATION OF THE LAND AND SECURITY SYSTEM INCREASES IN AGRORESOURCE POTENTIAL AGROLANDSCAPES



УДК 631.6.02

DOI:10.24411/2588-0209-2020-10185

Сафронова Татьяна Ивановна

доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Калинина, 13),
ORCID: 0000-0002-2877-0985, saf55555@yandex.ru

Соколова Ирина Владимировна

кандидат педагогических наук, профессор кафедры высшей математики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Калинина, 13),
ORCID: 0000-0001-5041-7208, irin-sokolova@yandex.ru

Tatyana I. Safronova, doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics, FSBOU "Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin" (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, Kalinin Str., 13),
ORCID: 0000-0002-2877-0985, saf55555@yandex.ru

Irina V. Sokolova, candidate of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics, FSBOU "Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin" (350044, Krasnodar Territory, Krasnodar, Kalinin Str., 13),
ORCID: 0000-0001-5041-7208, irin-sokolova@yandex.ru

Аннотация. Принципиальное условие рационального природопользования – сохранение устойчивого состояния почвы. При нарушении этого условия широко распространяется и разнообразно проявляется антропогенная деградация

почв. Восстановление утраченного плодородия возможно только после применения дорогих комплексных агромелиоративных мероприятий, включающих дренаж, рассоление, промывки, разуплотнение и внесения химических мелиорантов. В результате антропогенного воздействия проявляются различные деграционные изменения, влияющие на плодородие: иногда незначительно, а иногда и существенно. В связи с этим появляется необходимость теоретических и практических обоснований мероприятий по защите почв от деграционных изменений. На результаты расчетов по обоснованию значительное влияние оказывает неравномерность скоростей просачивания и исходное солесодержание, а также принятый порог токсичности. Систематизация причин деградации и разработка системы мероприятий позволит предохранить почву от деграционных изменений, при обращении особого внимания на обоснование гидродинамической обстановки, учитывая временную и площадную изменчивость скоростей просачивания, сочетая гидрогеологические исследования с решением комплекса агромелиоративных задач. В статье авторы рассматривают дифференциальное уравнение вымывания загрязнения из почвогрунтов с учетом его разбавления почвенной влагой. Учитывается объем орошаемого массива, концентрация загрязнения в почвогрунте, расход оросительной воды, концентрация загрязнения в оросительной воде, объем почвенной влаги. Решение рассматриваемого уравнения отражает динамику загрязнителя из почвы и является моделью процессов смешения и разбавления оросительной воды в бассейне почвогрунтов. Модель может быть использована для прогноза рассоления и предупреждения вторичного засоления земель для обоснования режима промывок и поливов.

Abstract. The fundamental condition of environmental management is the preservation of sustainable soil condition. When this condition is violated, man-made land degradation is widespread and diverse. Restoration of lost fertility is possible only after the use of expensive complex agromeliorational measures, including drainage, salting, washing, decompression and application of chemical meliorants. As a result of man-made activity, there are various degradation changes affecting fertility, sometimes not significantly and sometimes significantly. This calls for theoretical and practical measures to protect soils from degradation change. The results of the justification calculations are significantly influenced by uneven leakage rates and initial salt content, as well as by the accepted toxicity threshold. Systematization of the causes of degradation and development of the system of measures will make it possible to protect the soil from degradation changes, when paying special attention to the settlement of the hydrodynamic situation, taking into account the temporary and area variability of leakage rates, combining hydrogeological research with the

solution of a complex of agromeliorative tasks. In the article the authors consider the differential equation of washing pollution from soils taking into account its dilution with soil moisture. The volume of the irrigation mass, the concentration of contamination in the soil, the consumption of irrigation water, the concentration of pollution in the irrigation water, the volume of soil moisture are taken into account. The solution of the equation in question reflects the dynamics of the pollutant from the soil and is a model of the processes of mixing and dilution of irrigation water in the soil basin. The model can be used to predict salinization and prevent secondary salinization of land to justify the mode of washing and watering.

Ключевые слова: деградационные изменения, концентрация загрязнения, дифференциальное уравнение.

Keywords: degradation changes, pollution concentration, differential equation.

Введение.

Проведение оросительных мелиораций может приводить к отрицательным изменениям природной среды. Причины этих проявлений различны: или недостаточный уровень знаний о разнообразных природно-хозяйственных условиях зон орошаемого земледелия, или не комплексный подход при обосновании проектов, или низкий уровень эксплуатации оросительных систем – когда планирование подачи воды оросительной системой основывается на водопотребности культуры и не учитывает емкостных и фильтрационных возможностей грунтов.

Использование орошаемых земель будет эффективным, если наряду с другими факторами будут обеспечены такие мелиоративные условия, которые позволят получить проектную урожайность без ухудшения плодородия почв и природной среды.

Материал и методика исследования.

В действующих нормативах отсутствуют показатели, характеризующие степень пораженности территории экзогенными процессами, скорость и интенсивность их развития под влиянием орошения, характер изменения состава и свойств почвы в условиях длительного увлажнения. Комплексы оценочных показателей должны отражать степень потенциальной опасности территории по отношению к развитию неблагоприятных процессов [1].

На основе прогнозов режима минерализации и химического состава грунтовых вод должны быть уточнены значения допустимых глубин залегания грунтовых вод. От правильного их определения в значительной мере зависит сохранение плодородия почв и охрана окружающей среды.

Для обоснования земельно-охранной системы повышения потенциала агроландшафтов необходимо создать оптимальную модель землепользования с учетом тесной взаимосвязи природных и хозяйственных факторов [2].

Для выявления в количественной форме зависимостей между факторами воздействия и состоянием агроландшафта необходимо прослеживание во времени и пространстве возможных в процессе эксплуатации изменений показателей гидрогеолого-мелиоративных условий [3].

В результате антропогенного воздействия проявляются различные деградиционные изменения, иногда не значительно снижающие плодородие, а иногда – существенно. В связи с этим появляется необходимость теоретических и практических обоснований мероприятий по защите почв от деградиционных изменений [4].

По пути транспортировки животноводческих стоков для орошения на ЗПО располагаются резервуары для осветления стоков, являющиеся самостоятельным источником загрязнения грунтовых вод. Бесконтрольное использование животноводческих стоков или даже прямой их сброс в реки увеличивает в поверхностных и подземных водах концентрацию загрязняющих веществ по БПК₅, ХПК, аммиаку, нитритам, фосфору, калию, общей минерализации, фенолам, бактериальному загрязнению, приводит к инфицированию, дисбалансу питательных веществ почвы и экологического равновесия почвенных микроорганизмов, эрозии почв, загрязнению атмосферы вредными газами. В последнее время повысилась необходимость прогноза поступлений азотных соединений в грунтовые воды.

Поступление в окружающую среду минерализованных дренажных вод представляет собой существенную экологическую проблему. Наиболее сложные и трудно устранимые негативные последствия связаны с гидрогеохимическими процессами, которые протекают в зоне аэрации и грунтовых водах при взаимодействии грунтовых вод с поливными, инфильтрующимися через зону аэрации.

При достижении грунтовыми водами глубины $h_{кр}$ начинает сказываться испарение с их поверхности, возникает восходящий поток влаги. При стабилизации водного режима испарение с поверхности грунтовых вод преобладает над нисходящим потоком (выпотный режим). Грунтовые воды с повышенной минерализацией в летний период будут источником вторичного засоления пород зоны аэрации. Прогнозная величина вторичного засоления определяется суммированием прогнозных концентраций от привноса солей из грунтовых и оросительных вод. По разности между начальным засолением пород и прогнозным его значением определяем степень изменения минерализации грунтовых вод и их прогнозный ионный состав [5, 6].

Необходимые для таких прогнозов параметры – интенсивности инфильтрации, исходного солесодержания, кинетики солеобмена – следует устанавливать, используя данные режимных наблюдений за водным балансом и динамикой минерализации дренажного стока.

В результате мелиорации изменяется естественный водный и солевой режимы земель. Это приводит, с одной стороны – к увеличению биологической продуктивности почв, с другой – к нарушению гидрохимического равновесия почвенных растворов и увеличению влаго- и солеобмена между почвенными и грунтовыми водами. Роль этих процессов в формировании мелиоративных условий различна: с одной стороны, они способствуют повышению плодородия почв, с другой стороны, могут привести (в зависимости от направленности и интенсивности) к ухудшению основных свойств почв в результате вторичного засоления, осолонцевания или увеличения кислотности.

К токсичным ионам, способным образовывать токсичные соединения, относятся ионы хлора, натрия и магния, а сульфат- и гидрокарбонат ионы токсичны при образовании натриевых и магниевых солей [7]. Поскольку различные ионы обладают различной степенью токсичности, то целесообразно представлять их содержание в сопоставимом по токсичности

виде. Для этого рекомендуется приводить их к расчетному содержанию ионов хлора, принимая, что 1 мг-экв Cl^- приводит к действию 6 мг-экв SO_4^{2-} , 3 мг-экв HCO_3^- и 0,1 мг-экв CO_3^{2-} .

Результаты и обсуждение.

В прогнозных расчетах следует применять количественные методы, которые позволяют достаточно быстро рассматривать конкурирующие типовые варианты подхода и выбирать из них наиболее целесообразный. Таким способом является имитационное моделирование – целенаправленное моделирование на вычислительной машине путем имитации определенных гидрогеологических условий и воздействий на них мелиоративных мероприятий. Гидрохимические прогнозы должны быть непрерывными, иметь обратную связь, быть оптимальными. Для этого исходная информация, необходимая для составления модели изучаемого процесса, уточняется от стадии к стадии на основе использования имитационного моделирования. На орошаемых территориях поглощенный комплекс почвы насыщается ионами натрия и магния, а в раствор вытесняются ионы кальция и калия. В периоды поливов и промывок при разбавлении поровых растворов пород зоны аэрации пресными водами происходит десорбция ионов натрия и магния вследствие вытеснения их из обменного комплекса ионами кальция.

Рассмотрим математическое описание процессов смешения и разбавления оросительной воды в бассейне почвогрунтов [8]. Полагая, что поступающая вода в орошаемом массиве распределяется равномерно, составим дифференциальное уравнение вымывания загрязнения из почвогрунтов с учетом его разбавления почвенной влагой

$$V \frac{dG}{dt} = Q_{op} C_{op} - (Q_{op} + Q_n) G, \quad (1)$$

где V – объем орошаемого массива,

G – концентрация загрязнения в почвогрунте,

Q_{op} – расход оросительной воды,

C_{op} – концентрация загрязнения в оросительной воде,

Q_n – объем почвенной влаги.

Следует учитывать наличие в почвогрунтовой толще нескольких зон с различной степенью выраженности изменений влагосодержания в годовом цикле. Меторовая толща почвогрунта является слоем наиболее активного влагообмена.

Перепишем уравнение (1) в виде

$$\frac{v}{Q_{op} + Q_n} \frac{dG}{dt} + G = \frac{Q_{op}}{Q_{op} + Q_n} C_{op} \quad (2)$$

и обозначим $\frac{Q_{op}}{Q_{op} + Q_n} C_{op} = C_1$; $\frac{v}{Q_{op} + Q_n} = T_6$,

T_6 – постоянная времени бассейна орошаемого массива (время водообмена).

Получим уравнение (3)

$$T_6 \frac{dG}{dt} + G = C_1 \quad (3)$$

Решение уравнения (3), отражающее динамику загрязнителя из почвы, показывает, что в установившемся режиме концентрация загрязнителя в почвогрунте будет равна G_1 . О масштабах внутрпочвенных процессов можно судить по запасам солей.

Графики по засолению обрабатывали следующим образом:

1. Определяли тип засоления (хлоридный, сульфатно-хлоридный, ...);

2. По таблице классификации почв находили эталонный параметр для определённой степени засоления;

3. Подсчитывали по рисункам для каждого горизонта n_i – число измерений, не превышающих конкретный параметр.

Для выработки стратегии хозяйственных решений использовали следующую методику.

Обозначим Ω_d – множество возможных хозяйственных решений d , Ω_M – множество возможных типов минерализации, u – экономический показатель, конкретное значение которого зависит от принятого хозяйственного решения и зафиксированного типа минерализации. Зависимость

$$U = u(F, d) \quad (4)$$

в соответствии со смыслом той или иной конкретной задачи называется функцией выигрыша или функцией потерь.

Необходимо задание количественного критерия, позволяющего сравнивать между собой различные варианты хозяйственной деятельности. Рассмотрим так называемый байесовский подход. Согласно этому подходу, оптимальной среди множества допустимых стратегий Ω_S считается стратегия S_0 , максимизирующая средний в статистическом смысле доход

$$U = \overline{u(M, d)}, \quad (5)$$

или, если u – потери, то минимизирующая определяемые формулой (5) средние потери. Черта – символ операции статистического осреднения.

Если M и d – элементы дискретных множеств $\Omega_M = \{M_i; i = 1 \dots m\}$, $\Omega_d = \{d_j; j = 1 \dots n\}$, то

$$U = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n u(M_i, d_j) P_S(M_i, d_j), \quad (6)$$

где $P_S(M_i, d_j)$ – совместные вероятности различных сочетаний хозяйственных решений d и фактически зарегистрированной минерализации M , зависящие от выбранной стратегии S .

Если стратегия недифференцированная, то справедливо равенство

$$P_S(M_i, d_j) = P(M_i),$$

и, следовательно,

$$U = U_{M_j} = \sum_{i=1}^m u(M_i, d_j) P(M_i) \quad (7)$$

Стратегия, оптимальная по минерализации, определяется в предположении о непрерывности модели. В этой модели условия минерализации характеризуются значениями некоторой величины $X = x$, а принимаемые хозяйственные решения d сводятся к ориентации на то или иное значение $X = a$.

Оптимум по минерализации для функции потерь $r(x, a)$ может быть найден по формуле

$$R = \int_x r(x, a) f(x) dx \rightarrow \min. \quad (8)$$

Рассмотрим разностные величины $r(F, d)$, показывающие, в какой степени снижается экономический эффект, если вместо оптимального при данной минерализации хозяйственного решения $d_0(M)$ принимается другое (неоптимальное) хозяйственное решение d . Если $u(M, d)$ – функция выигрыша, то

$$\begin{aligned} r(M, d) &= u(M, d_0) - u(M, d), \\ u(M, d_0) &= \max u(M, d), \quad d \in \Omega_d \end{aligned} \quad (9)$$

Аналогично, если $u(M, d)$ – функция потерь, то

$$\begin{aligned} r(M, d) &= u(M, d) - u(M, d_0), \\ u(M, d_0) &= \min u(M, d), \quad d \in \Omega_d \end{aligned} \quad (10)$$

Далее рассматриваем потери из-за превышения минерализации и учитываем возникающий при этом ущерб следующей функцией:

$$r(x, a) = \begin{cases} A_1(x - a) & \text{при } x \leq a, \\ A_2(x - a) & \text{при } x > a, \end{cases} \quad (11)$$

где A_1, A_2 характеризуют хозяйственную значимость отрицательных и положительных отклонений x от a , то есть A_1, A_2 – веса отрицательных и положительных отклонений от нормы.

Область применения

К концу вегетационного периода для водного режима орошаемых массивов характерно сильное иссушение почвенной толщи. Тогда значение влажности по всему почвенному профилю приближается к величине влажности завядания с некоторыми отклонениями в ту или другую сторону, в зависимости от возделываемой культуры и количества осадков, выпавших в предшествующие сроки. Основное промачивание наблюдается в ранневесенний период за счет инфильтрации талых вод и дождевых осадков. Существенное влияние на глубину промачивания почвы оказывают также степень ее иссушения в предшествующий период. Для более объективной характеристики водного режима орошаемого массива необходимо иметь оценку изменений влагосодержания в почвах в различное время [9, 10]. Получение в достаточном объеме таких данных при натуральных наблюдениях трудоемко, поэтому целесообразно использовать метод математического моделирования.

Заключение.

Экологические последствия загрязнения отражают снижение некоторого показателя, характеризующего ценность конкретного орошаемого массива. Этим показателем может быть: гумусное состояние, солевой состав, строение почвенного покрова, водопроницаемость, агрохимические показатели, биологическая продуктивность растений, окультуренность почвы, естественная дренированность и т.д. Для некоторых из этих показателей в почвоведении, в кадастровой оценке земель уже существуют строгие количественные и экономические оценки, для других – только разрабатываются.

Имитационные модели земельно-охранной системы повышения агроресурсного потенциала агроландшафтов не только являются эффективным средством задач планирования

и проектирования, но и могут быть применены непосредственно для принятия решений в процессе оперативного управления.

Литература

1. Подколзин О.А., Соколова И.В., Перов А.Ю., Кильдюшкин В.М., Давиденко Г.А. Инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения как элемент системы управления земельными ресурсами // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 72-77.
2. Подколзин О.А., Соколова И.В., Слюсарев В.Н., Осипов А.В., Швец Т.В., Перов А.Ю. Мониторинг и оценка состояния почв степных агроландшафтов северо-западного Кавказа // Агрехимический вестник. 2019. № 1. С. 11-15.
3. Сафронова Т.И., Хаджиди А.Е., Холод Е.В. Обоснование метода управления агро-ресурсным потенциалом агроландшафтов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 223.
4. Сафронова Т.И., Луценко Е.В. Исследование семантической информационной модели управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета. 2004. №7. С. 5-28.
5. Сафронова Т.И., Луценко Е.В. Синтез, оптимизация и верификация семантической информационной модели управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2004. № 7. С. 44-51.
6. Сафронова Т.И., О.П. Харламова О.П., Приходько И.А. Регулирование солевого режима почв рисовых оросительных систем // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 36. С. 324-329.
7. Подколзин О.А., Соколова И.В., Осипов А.В., Баракина Е.Е., Перов А.Ю. Содержание основных микроэлементов в почвах Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 69. С. 171-176.
8. Сафронова Т.И., Соколова И.В. О дисциплине «Математическое моделирование процессов в компонентах природы» на факультете гидромелиорации // Международный журнал экспериментального образования. 2018. № 3. С. 27-31.
9. Kumar, S. Developing soil matric potential based irrigation strategies of direct seeded rice for improving yield and water productivity / S. Kumar, B. Narjary, K. H.S. Kumar, Jat, S.K. Kamra, R.K. Yadav // Agricultural Water Management. 2019. Volume 215, Pages 8-15.
10. Bhuiyan, K.A. Grain yield, growth response, and water use efficiency of direct wet-seeded rice as affected by nitrogen rates under alternate wetting and drying irrigation system / K.A. Bhuiyan, S.U. Bhuiya, M.A. Saleque, A. Khatun // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2018. Volume 49, Issue 20, Pages 2527-2545.

References

1. Podkolzin O.A., Sokolova I.V., Perov A.Yu., Kil'dyushkin V.M., Davidenko G.A. Inventarizatsiya zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya kak ehlement sistemy upravleniya zemel'nymi resursami // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 9. S. 72-77.

2. Podkolzin O.A., Sokolova I.V., Slyusarev V.N., Osipov A.V., Shvets T.V., Perov A.Yu. Monitoring i otsenka sostoyaniya pochv stepnykh agro-landshaftov severo-zapadnogo Kavkaza // *Agrokhimicheskii vestnik*. 2019. № 1. S. 11-15.

3. Safronova T.I., Khadzhidi A.E., Kholod E.V. Obosnovanie metoda upravleniya agrolesursnym potentsialom agrolandshaftov // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. № 2. S. 223.

4. Safronova T.I., Lutsenko E.V. Issledovanie semanticheskoi informa-tсионnoi modeli upravleniya kachestvom gruntovykh vod na risovykh orositel'nykh sistemakh // *Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Ku-banskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2004. №7. S. 5-28.

5. Safronova T.I., Lutsenko E.V. Sintez, optimizatsiya i verifikatsiya se-manticheskoi informatsionnoi modeli upravleniya kachestvom gruntovykh vod na risovykh orositel'nykh sistemakh // *Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2004. № 7. S. 44-51.

6. Safronova T.I., O.P. Kharlamova O.P., Prikhod'ko I.A. Regulirova-nie solevogo rezhima pochv risovykh orositel'nykh sistem // *Trudy Kubansko-go gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012. № 36. S. 324-329.

7. Podkolzin O.A., Sokolova I.V., Osipov A.V., Barakina E.E., Perov A.Yu. Soderzhanie osnovnykh mikroelementov v pochvakh Krasnodarskogo kraya // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. № 69. S. 171-176.

8. Safronova T.I., Sokolova I.V. O distsipline «Matematicheskoe mode-lirovanie protsessov v komponentakh prirodY» na fakul'tete gidromeliora-tsii // *Mezhdunarodnyi zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya*. 2018. № 3. S. 27-31.

9. Kumar, S. Developing soil matric potential based irrigation strategies of direct seeded rice for improving yield and water productivity / S. Kumar, B. Nar-jary, K. H.S. Kumar, Jat, S.K. Kamra, R.K. Yadav // *Agricultural Water Manage-ment*. 2019. Volume 215, Pages 8-15.

10. Bhuiyan, K.A. Grain yield, growth response, and water use efficiency of direct wet-seeded rice as affected by nitrogen rates under alternate wetting and dry-ing irrigation system / K.A. Bhuiyan, S.U. Bhuiya, M.A. Saleque, A. Khatun // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2018. Volume 49, Issue 20, Pages 2527-2545.