

**ФОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА
НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ**

**FORMATION OF CONTAMINATED SURFACE RUNOFF ON
AGRICULTURAL LAND**



УДК 631.6

DOI:10.24411/2588-0209-2020-10175

Сафронова Татьяна Ивановна

доктор техн. наук, профессор, кафедра «Высшей математики», Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар

Приходько Игорь Александрович

кандидат техн. наук, доцент, кафедра «Строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов», Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар

Safronova Tatyana Ivanovna

doctor tech. Sciences, Professor, Department of Higher Mathematics, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Prikhodko Igor Alexandrovich

Candidate of Tech. Sciences, Associate Professor, Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Аннотация

В статье рассматривается моделирование динамики водного режима почвогрунтов оросительных систем. В модели учитывается масса

загрязнителей, поступающих в поверхностные воды. Моделирование динамики влагозапасов почвы и уровня грунтовых вод рассматривается отдельно для площадей с гидроморфным и автоморфным режимами. Предлагается зависимость между дренажным оттоком и уровнем грунтовых вод.

Summary

The article deals with modeling the dynamics of the water regime of soil irrigation systems. The model takes into account the mass of pollutants entering surface waters. Modeling the dynamics of soil moisture reserves and ground water level is considered separately for areas with hydromorphic and automorphic modes. The relationship between drainage outflow and ground water level is proposed.

Ключевые слова: минерализация грунтовых вод, фильтрационные потери, дренажный отток.

Keywords: groundwater mineralization, filtration losses, drainage outflow.

Введение. Проведение оросительных мелиораций может приводить к отрицательным изменениям природной среды – к повышению уровня грунтовых вод и в связи с этим подтоплению территорий, вторичному засолению земель, ухудшению физико-химических и агрофизических свойств почв и др [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 [2].

Водная эрозия вызывает уменьшение в почве содержания гумуса и азота, вызывает изменения в структуре почвенного покрова. В результате уменьшается содержание в почве усвояемых растениями макро- и микроэлементов. Проявляется водная эрозия в основном на сельскохозяйственных угодьях под воздействием ливневых дождей и талых вод. В связи с этим разработка методики оценки эродированности почв является актуальной [3].

Краснодарский край входит в состав Южного федерального округа Российской Федерации. По результатам обследования в 2016 году степени эродированности почв, подверженных водной эрозии в Южном федеральном округе, сильноэродированные почвы занимают 11,5% сельскохозяйственных угодий, среднеэродированные – 23,4%. В Краснодарском крае 1845 тыс. га сельскохозяйственных земель подвержены эрозии, из них – водной – 794 тыс. га [4].

Материал и методы. Математическое моделирование является одним из основных инструментов изучения ситуации на сельскохозяйственных угодьях.

Состояние территории будем характеризовать следующими параметрами:

а) топографическими; б) гидрологическими; в) агрономическими.

Выполним расчет баланса поверхностных вод оросительной системы.

Пусть OB^t – количество воды, поступившей на вход сети оросительных каналов за расчетный промежуток времени t ; F^t – фильтрационные потери из внутриводосборной сети каналов; [1,2]

$$\eta = \frac{OB^t - F^t}{OB^t}, \quad (1)$$

где η – эмпирический КПД внутриводосборной сети каналов участка оросительной системы.

$$Q^t = \frac{1}{S}(OB^t - F^t), \quad (2)$$

где S – площадь орошаемого участка;

Рассмотрим суммарную величину поступлений воды на поверхность водосбора участка

$$Q_i^t = Q^t + XR_i^t + TS_i^t, \quad (3)$$

где XR_i^t – осадки в виде дождя; TS_i^t – снеготаяние.

Вклад участка в стокообразующий объем определяется как часть воды, поступившей на участок за вычетом объема воды, инфильтровавшегося в почву (I_i^t)

$$Y_i^t = Q_i^t - I_i^t, \quad (4)$$

При расчете объема инфильтрации учитывается покрытие дефицита влажности почвы и испарение на данном расчетном шаге

$$Y_i^t = \min\{Q_i^t, DW_i^{t-1} + E_i^t\}, \quad (5)$$

где DW_i^{t-1} – дефицит влажности почвы; E_i^t – суммарное испарение.

$$DW_i^{t-1} = WP - W_i^{t-1}, \quad (6)$$

где WP – предельно-полевая влагоемкость.

Величина суммарного испарения определяется по формуле:

$$E_i^t = \min\left\{E_0, E_0 \cdot \frac{W_i^t - WZ}{W_{кр} - WP}\right\}, \quad (7)$$

где W_i^{t-1}, W_i^t – влагозапасы в корнеобитаемой зоне для расчетного t и предыдущего ($t-1$) шага;

$$E_0 = BK_i^t d^t - \text{потенциальное испарение}, \quad (8)$$

BK_i^t – коэффициенты биологического водопотребления ландшафта, определяются в зависимости от суммы температур, накопленных с начала вегетации по t-й шаг включительно; d^t – дефицит влажности воздуха; $WZ, W_{кр}$ – параметры влагоудерживающей способности почвы.

Минерализация воды CY^t в замыкающем створе оросительной системы определяется по формуле

$$CY^t = \frac{CQ^t}{Y_i^t} = \frac{CQ^t}{Q_i^t - I_i^t}, \quad (9)$$

где CQ^t – концентрация солей в оросительной воде.

Моделирование динамики влагозапасов почвы и уровня грунтовых вод равнинных участков следует производить отдельно для площадей с гидроморфным и автоморфным режимом. Водосброс определим выражением

$$Y^t = LS^t + DY^t + DA^t, \quad (10)$$

где LS^t – величина бесполезного сброса в коллекторную сеть каналов; DY^t, DA^t – дренажный отток для частей оросительной системы с гидроморфным и автоморфным режимами соответственно.

После учета разбавления коллекторно-дренажных вод водами бесполезного сброса минерализация воды в замыкающем створе определяется выражением

$$CY^t = \frac{CQ^t \cdot LS^t + GY^t + (DY^t + DA^t)}{Y^t}, \quad (11)$$

где CQ^t – минерализация оросительных вод; GY^t – минерализация грунтовых вод.

Определим концентрацию солей потока с учетом предшествующего засоления корнеобитаемой зоны, поступления солей с выделенной на орошение водой и разбавления раствора за счет выпавших осадков

$$CZG^t = \frac{CW^{t-1} \cdot W^{t-1} + CQ^t \cdot Q^t}{W^{t-1} + Q^t + X^t}, \quad (12)$$

где CZG^t – концентрация солей потока ZG^t ; CW^{t-1} – концентрация солей в корнеобитаемой зоне на предшествующем расчетном шаге; W^{t-1} – влагозапасы корнеобитаемой зоны на расчетном шаге (t-1); X^t – осадки.

Тогда минерализацию грунтовых вод можно определить по формуле

$$CG^t = \frac{CG^{t-1} \mu (HM - H)^t + CR^t \cdot R^t + CZG^t \cdot ZG^t + CQ^t \cdot F^t}{\mu (HM - H)^t + R^t + ZG^t + F^t} \quad (13)$$

где CG^{t-1}, CG^t – минерализация грунтовых вод на шаге t-1 и t соответственно; HM – максимальное понижение уровня грунтовых вод; CR^t – минерализация воды, поступающей в грунтовые воды с потоком R^t из грунтовых вод близлежащих оросительных систем; μ – коэффициент водоотдачи грунта.

Величина $\mu(HM-H)^t$ – объем грунтовых вод, участвующий в процессах, для которого принято допущение о полном перемешивании с поступающими водами;

Результаты и обсуждение

Поток ZG^t обусловлен избыточным количеством воды (оросительной Q^t и поступившей с осадками X^t по сравнению с предельной полевой влагоемкостью WP) и определяет переток воды из зоны аэрации в грунтовые воды

$$ZG^t = \max\{W^{t-1} + Q^t + X^t - WP, 0\} \quad (14)$$

При моделировании динамики уровня грунтовых вод предполагаем, что вначале происходит поднятие уровня грунтовых вод за счет поступлений воды из зоны аэрации, грунтовых вод соседних участков и фильтрационных потерь из оросительных каналов [5,6]. Этот уровень определяет величину дренажного оттока. Выражение для уровня грунтовых вод с учетом только поступлений запишем следующим образом

$$HP^t = HP^{t-1} + \frac{1}{\mu}(ZG^t + F^t), \quad (15)$$

где HP^{t-1} – уровень грунтовых вод, отсчитываемый от поверхности почвогрунта.

Для расчета подпитывания корнеобитаемого слоя грунтовыми водами можно использовать формулу С.Ф. Аверьянова

$$GZ^t = \begin{cases} E_0^t \left(1 - \frac{H^t}{H_{кр}}\right)^n, & H^t < H_{кр} \\ 0, & H^t \geq H_{кр} \end{cases}, \quad (16)$$

где $H_{кр}$ – критическая глубина залегания уровня грунтовых вод, при которой начинается подпитка зоны аэрации; n – показатель степени, зависит от типа почвогрунтов ($k = 1-3$), подбирается эмпирически, E_0^t – потенциальное суммарное испарение.

Между дренажным оттоком и уровнем грунтовых вод можно использовать линейную зависимость

$$D^t = DS + KD \cdot H^t, \quad (17)$$

где DS, KD – параметры, характеризующие дренированность территории данной оросительной системы.

Описанная модель позволяет обосновать режимы орошения и отвода минерализованных коллекторно-дренажных вод [7] и составить программу управления мелиоративным состоянием оросительной системы [8]. Если динамические объемы емкостей грунтовых и поверхностных вод превысят предельно допустимые нормы, координатор программы сигнализирует о заболачивании или наводнении на участке.

Список использованной литературы

1. 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.

2. Сафронова Т.И., Приходько И.А. Мониторинг почвенно-мелиоративного состояния земель дельты реки Кубань // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 17. – С. 12-21.

3. Сафронова Т.И., Луценко Е.В. Когнитивная структуризация и формализация задачи управления качеством грунтовых вод на рисовых оросительных системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2004. – № 7. – С. 29-43.

4. Сафронова Т.И., Харламова О.П., Приходько И.А. Регулирование солевого режима почв рисовых оросительных систем // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 36. – С. 324-329.

5. Degtyareva O.G., Safronova T.I., Sokolova I.V. The calculation of a drain seasonal regulation reservoir volume probability // Materials Science Forum. 2018. T. 931 MSF. С. 991-995.

6. Сафронова Т.И. Анализ оценки земельных ресурсов в сельском хозяйстве [Текст] / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько, Л.Н. Кондратенко // Фундаментальные исследования, 2019. – № 5. – С.110 – 114

7. 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.

8. Сафронова Т.И. Анализ оценки земельных ресурсов в сельском хозяйстве / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько, Л.Н. Кондратенко // Фундаментальные исследования, 2019. – № 5. – С.110 – 114

Spisok ispol'zovannoi literatury

1. Safronova T.I., Lutsenko E.V. Issledovanie semanticheskoi informatsionnoi modeli upravleniya kachestvom gruntovykh vod na risovykh orositel'nykh sistemakh // Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2004. – №7. – S. 5-28.

2. Safronova T.I., Prikhod'ko I.A. Monitoring pochvenno-meliorativnogo sostoyaniya zemel' del'ty reki Kuban' // Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2006. – № 17. – S. 12-21.

3. Safronova T.I., Lutsenko E.V. Kognitivnaya strukturizatsiya i formalizatsiya zadachi upravleniya kachestvom gruntovykh vod na risovykh orositel'nykh sistemakh // Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2004. – № 7. – S. 29-43.

4. Safronova T.I., Kharlamova O.P., Prikhod'ko I.A. Regulirovanie solevogo rezhima pochv risovykh orositel'nykh sistem // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – № 36. – S. 324-329.

5. Degtyareva O.G., Safronova T.I., Sokolova I.V. The calculation of a drain seasonal regulation reservoir volume probability // Materials Science Forum. 2018. T. 931 MSF. S. 991-995.

6. Safronova T.I. Analiz otsenki zemel'nykh resursov v sel'skom khozyaistve [Tekst] / T.I. Safronova, I.A. Prikhod'ko, L.N. Kondratenko // Fundamental'nye issledovaniya, 2019. – № 5. – S.110 – 114

7. 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.

8. Safronova T.I. Analiz otsenki zemel'nykh resursov v sel'skom khozyaistve / T.I. Safronova, I.A. Prikhod'ko, L.N. Kondratenko // Fundamental'nye issledovaniya, 2019. – № 5. – S.110 – 114