

СТАТЬИ

УДК 631.4:631.6

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СОЛЕНАКОПЛЕНИЯ НА ОРОШАЕМЫХ
ПОЧВАХ КАРАКУЛЬСКОГО РАЙОНА БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ LEACHMOD**

**Бурханова Н.Х., Ахмедов А.У., Турдалиев Ж.М.,
Санакулов С.Ф., Баходиров З.А.**

*Институт почвоведения и агрохимических исследований, Ташкент,
e-mail: jamolbek1986@mail.ru, almon@mail.ru*

Цель исследования заключается в определении динамики распределения солей по слоям почвы в разрезе по месяцам с использованием модели LeachMod. На основе математических анализов моделируется динамика солей в почве. В засоленных почвах движение солей различно и колеблется в зависимости от времени года. В статье приведена информация о движении солей по слоям в течение года на орошаемых почвах массива им. Й. Охунбаева, Каракульского района Бухарской области. По результатам исследования установлено, что в зимние месяцы испарение снижается до минимального уровня, и под действием осадков соли вымываются в нижние слои, что приводит к временному снижению засоленности в верхних слоях почвы. В результате промывки соли перемещаются из корнеобитаемой и переходной зон вниз, до грунтовых вод. Однако с наступлением весны испарение начинает постепенно увеличиваться, вызывая подъем солей в верхние слои. В летние месяцы наблюдается максимальный уровень засоленности. Анализ модели LeachMod показывает, что засоленность почвы снижается при понижении температуры и испарения и увеличивается при их повышении. Моделирование засоленности почв с помощью LeachMod позволяет прогнозировать их состояние в будущем и разрабатывать эффективные агротехнические мероприятия для повышения урожайности.

Ключевые слова: математическая модель, засоленность почвы, адвекция, корневая зона, переходная зона

**ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF SALT ACCUMULATION
ON IRRIGATED SOILS OF THE KARAKUL DISTRICT
OF BUKHARA REGION USING THE LEACHMOD MODEL**

**Burkhanova N.Kh., Akhmedov A.U., Turdaliev Zh.M.,
Sanakulov S.F., Bakhodirov Z.A.**

*Institute of Soil Science and Agrochemical Research, Tashkent,
e-mail: jamolbek1986@mail.ru, almon@mail.ru*

The aim of the study is to determine the dynamics of salt distribution in soil layers by month using the LeachMod model. The dynamics of salts in the soil is modeled based on mathematical analyses. In saline soils, salt movement is different and fluctuates depending on the season. The article provides information on the movement of salts in layers during the year on irrigated soils of the Y. Okhumboboev massif, Karakul district, Bukhara region. The study found that in the winter months, evaporation decreases to a minimum level, and under the influence of precipitation, salts are washed out into the lower layers, which leads to a temporary decrease in salinity in the upper soil layers. As a result of leaching, salts move from the root zone and transition zones down to groundwater. However, with the onset of spring, evaporation begins to gradually increase, causing salts to rise to the upper layers. The maximum level of salinity is observed in the summer months. Analysis of the LeachMod model shows that soil salinity decreases with decreasing temperature and evaporation and increases with increasing temperature and evaporation. Modeling soil salinity using the LeachMod model allows predicting their condition in the future and developing effective agrotechnical measures to increase crop yields.

Keywords: mathematical model, soil salinity, advection, root zone, transition zone.

Введение

В стратегии развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы определены важные задачи по поэтапной специализации районов на производство определенных видов продукции, исходя из сложившихся навыков земледелия, почвенно-климатических условий и водообеспеченности. Важное значение придается обеспечению высокой урожайности, экспортной ориентированности и концентрации сельхозкультур на компактных участках. В этом контексте особое значе-

ние приобретает разработка мероприятий по рациональному использованию земельных ресурсов, сохранению и повышению плодородия почв и улучшению их экологического и мелиоративного состояния [1].

Засоленные почвы широко распространены в Казахстане, Западной Сибири, республиках Средней Азии, Нижнем Поволжье, Южной Украине, Азербайджане и Северо-Восточном Предкавказье, а также в Сырдарьинской, Джизакской, Бухарской, Навоийской, Хорезмской областях, Республике Каракалпакстан, пустыне Карши, Сурхон-Шеробод-

ской степи, Центральной Фергане и других регионах Узбекистана [2, с. 351-356].

Засоление почв в аридных и полуаридных регионах является актуальной проблемой. Высокое испарение, ограниченное количество осадков и подъем минерализованных грунтовых вод приводят к накоплению солей в почве, что вызывает деградационные процессы на орошаемых землях. Для устранения этих негативных последствий важно использование различных моделей стимуляции.

LeachMod представляет собой математическую модель, применяемую для моделирования процессов вымывания солей из почвы.

Основные особенности модели LeachMod: моделирование движения воды и солей (вертикальная миграция в почве) [3, с. 308-319], оценка режимов промывки (анализ объема и качества поливной воды), учет почвенно-климатических условий (структура почвы, скорость фильтрации, осадки), сравнение различных методов орошения (дождевая вода, сточные воды и др.).

Цель исследования – анализ динамики засоления орошаемых почв массива имени Й. Охунбабаева в Каракульском районе Бухарской области с использованием математической модели LeachMod.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились с использованием общепринятых методов почвоведения, включая полевые работы по «картографированию засоленных почв», лабораторно-химические и камерально-аналитические исследования. Также использовались методические подходы, изложенные в «Положении о ведении мониторинга земель», инструкциях по проведению почвенных исследований для ведения Государственного земельного кадастра, а также в методических указаниях по бонитировке орошаемых почв Республики Узбекистан.

В ходе изысканий применялись методы, разработанные В.А. Ковдой: почвенно-генетический анализ, сравнительно-географический, сравнительно-геохимический, почвенно-гидрогеологический, лабораторно-аналитический, камерально-аналитический, а также методы расчета общего и токсичного содержания и запасов солей в почвах и грунтовых водах, определения степени и типов засоления (классификации).

Результаты исследования и их обсуждение

Модель LeachMod учитывает водный поток на основе уравнения Ричардса, а также включает процессы *адвекции* (верти-

кальное или горизонтальное перемещение солей в почве вдоль потока), *дисперсии* (перемещение солей в разных направлениях) и *диффузии* (перемещение солей вследствие разницы концентраций) согласно уравнениям транспортировки растворов [4, с. 65–74; 5, с. 82–88]. Эти процессы позволяют моделировать промежуточные и конечные состояния засоленных почв [6, с. 48–60; 7, с. 1173–1181].

Математическая модель LeachMod позволяет определить характеристики, специфичные для корневой и переходной зон почвы, с использованием математических формул. Для *корневой зоны* (r – глубина почвы, где происходит испарение и транспирация) используется следующее уравнение:

$$\lambda_i + R_r = E_{ra} + L_r + \Delta W_r,$$

где λ_i – поступление воды в корневую зону через поверхность почвы; R_r – количество воды, поднимающейся в корневую зону по капиллярам; E_{ra} – испарение и транспирация из корневой зоны; L_r – потери за счет перколяции из корневой зоны; ΔW_r – изменение запасов воды в корневой зоне.

Для *переходной зоны* (x – зона, следующая за корневой и расположенная ближе к уровню грунтовых вод) используется следующее уравнение:

$$L_r + L_c + V_r = R_r + V_l + G_d + \Delta W_d,$$

где L_c – количество воды, теряемой из оросительной системы в результате перколяции; V_r – объем грунтовых вод, вертикально просачивающихся вверх в переходную зону; V_l – объем грунтовых вод, вертикально просачивающихся вниз в переходную зону; G_d – объем подземных вод в естественной или искусственной дренажной системе; ΔW_d – изменение содержания влаги в переходной зоне. На основе анализа по приведённым математическим формулам формируется схема движения воды в почвенном профиле (рис. 1).

Способность модели LeachMod динамически стимулировать водный поток и транспорт солей особенно полезна в аридных регионах, где существует риск повышения концентрации солей на поверхности почвы в результате испарения. В данном исследовании с помощью модели LeachMod проведён анализ динамики солей в условиях орошаемых пустынно-луговых аллювиальных почв Бухарского региона.

На основе введённых данных была получена графическая картина распределения солей по слоям почвы в массиве имени Й. Охунбобоева Каракульского района Бухарской области в помесечном разрезе в течение одного года (рис. 2).

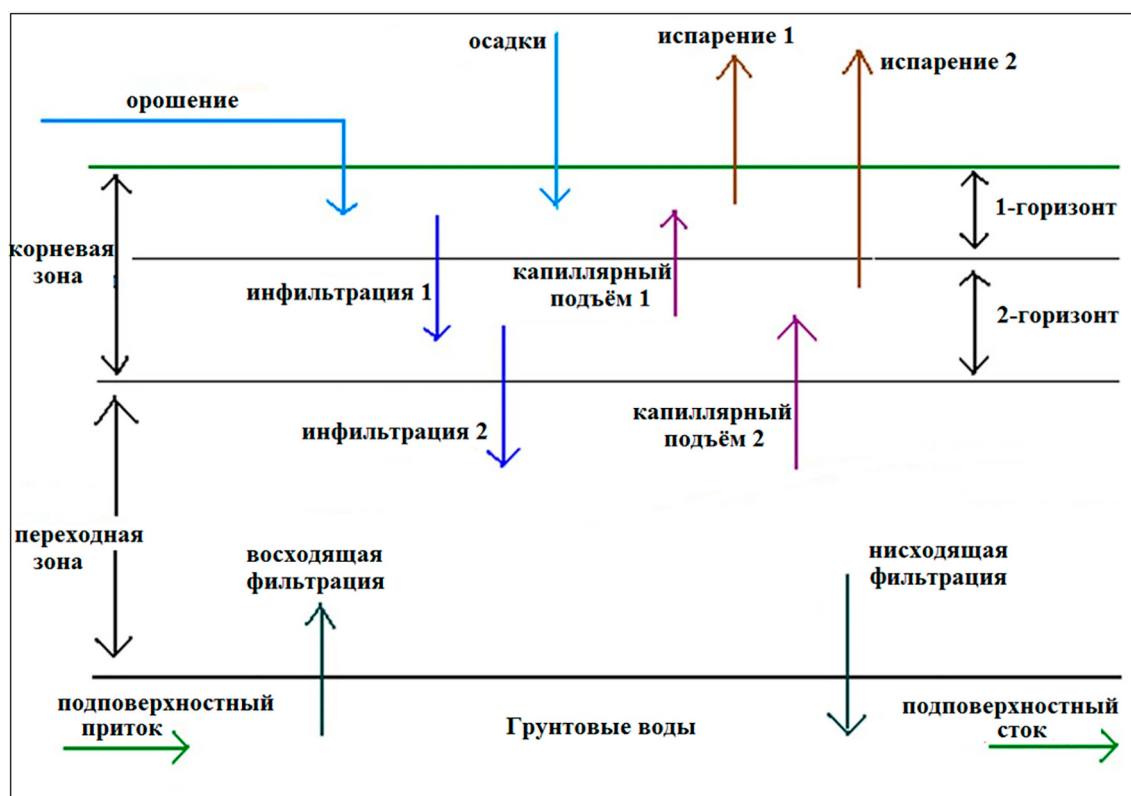


Рис. 1. Схема движения воды в слоях почвы в модели LeachMod

На основе модели программного обеспечения вышеуказанные графики объединяются, и динамика засоления почвы в помесячном разрезе моделируется в виде единой картины (рис. 3).

Анализ показал, что результаты модели отражают сложное взаимное влияние климатических факторов, методов орошения и свойств почвы на процессы засоления в условиях Бухарского региона.

Данное исследование направлено на изучение динамики засоления почв на орошаемых хлопковых полях Каракульского района Бухарской области. С помощью модели LeachMod была прослежена миграция солей по почвенному профилю в течение года, а также оценены изменения засоления почвы в условиях открытого дренажа. В модели были учтены сезонные мероприятия по орошению и процессы естественного вымывания солей.

Согласно результатам анализа, накопление и вымывание солей в почве тесно связаны с климатическими условиями и агротехническими практиками управления. Основные мероприятия по промывке почв проводятся в феврале и марте. В этот период испарение минимально и под воздействием осадков соли вымываются в нижние слои почвы, в результате чего временно

снижается концентрация солей в верхних горизонтах.

Однако в период орошения в июле и августе в почву поступает большой объем воды, поскольку это важный этап роста хлопчатника. Тем не менее из-за высокой температуры воздуха в летние месяцы усиливается испарение, что приводит к подъему солей на поверхность. Согласно графическим результатам, после промывки в феврале-марте уровень засоления снижается, но в засушливый летний период концентрация солей снова возрастает.

Результаты моделирования LeachMod показывают, что засоление почвы изменяется по циклической обратной U-образной схеме: минимальный уровень достигается к концу зимы, а затем вновь возрастает в летние месяцы. Эта тенденция указывает на тонкий баланс между объемом орошения и естественным вымыванием солей. Также было установлено, что состав почвы и эффективность дренажной системы значительно влияют на степень и период засоления.

Движение солей в почве не ограничивается только процессами орошения и промывки. Модель также учитывает такие факторы, как уровень инфильтрации, структура почвы и капиллярный подъем.

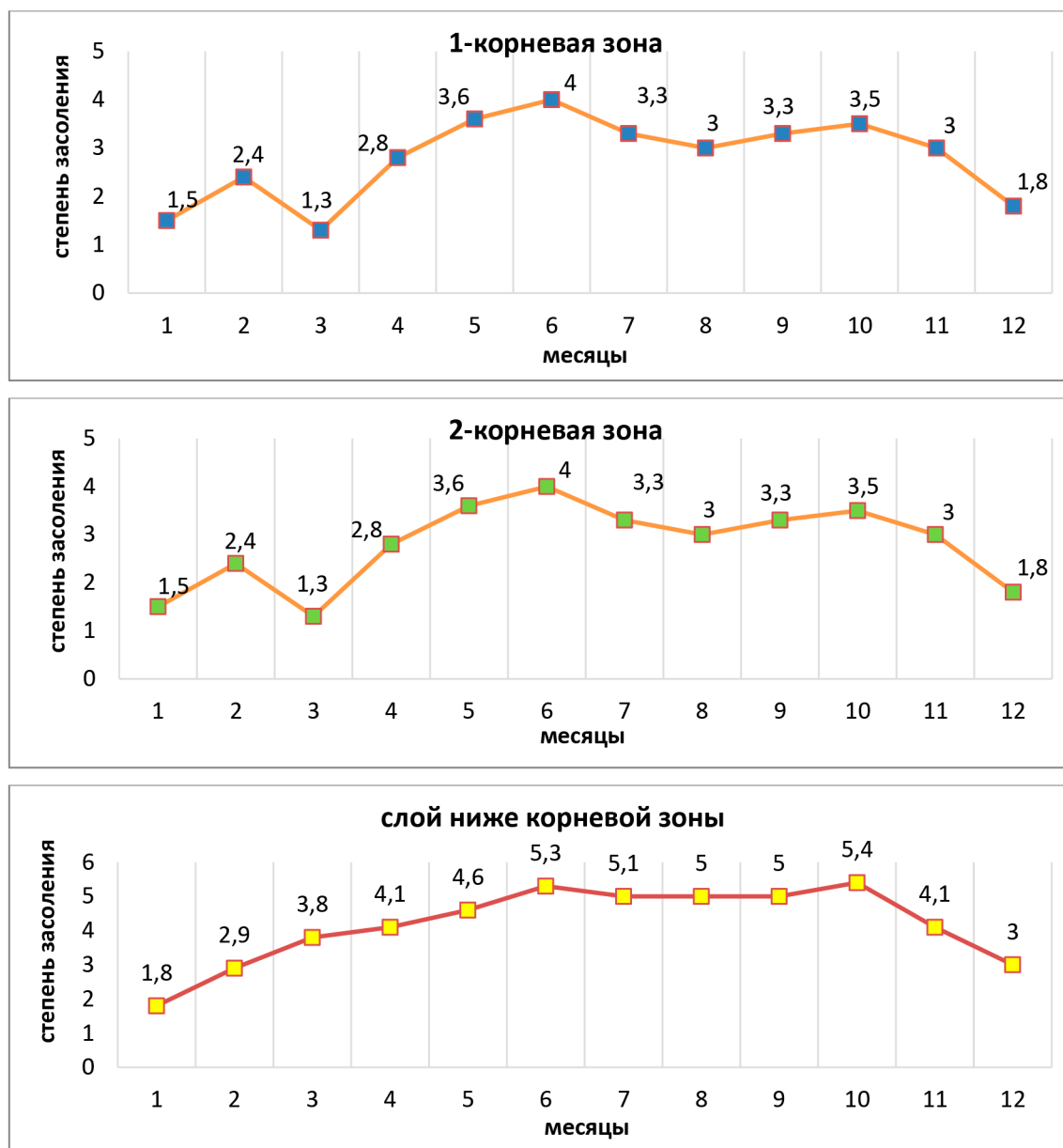


Рис. 2. Динамика солей в помесячных разрезах по слоям

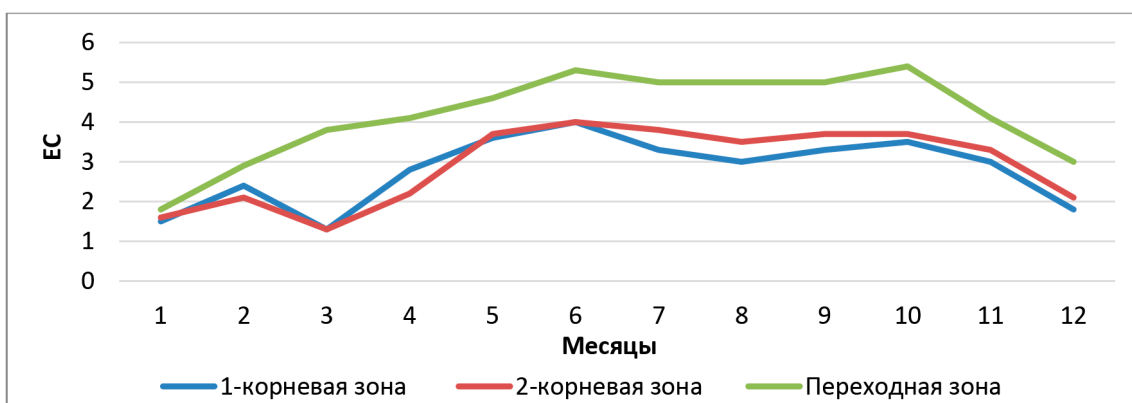


Рис. 3. Динамика изменения солёности во времени (на основе модели LeachMod)

В результате даже небольшие изменения в климате или режиме орошения могут существенно повлиять на динамику засоления. Модель LeachMod предоставляет важные данные для формирования стратегии использования земель и подчеркивает необходимость эффективных мер управления для обеспечения оптимальной урожайности.

Проведённый анализ подтверждает значимость модели LeachMod как инструмента для прогнозирования засоления почв и принятия управленческих решений, направленных на сохранение продуктивности сельского хозяйства в аридных регионах. Уточнение входных данных модели и интеграция с полевыми наблюдениями в будущем сыграют важную роль в снижении неопределённости модели и увеличении её прогностического потенциала.

Выводы

Результаты исследования показали, что модель LeachMod является эффективным инструментом для управления процессами засоления в орошаемых почвах Каракульского района Бухарской области. С помощью модели была точно смоделирована динамика движения солей во времени и по глубине, а также отражено сложное взаимодействие климатических факторов, режимов орошения и свойств почв.

Использование модели LeachMod в сельском хозяйстве позволяет рационально использовать оросительные воды, правильно организовывать мероприятия по промывке почв и сохранять их плодородие. Расширение применения данной модели на другие регионы и интеграция с полевыми данными позволит повысить её прогностический потенциал.

Кроме того, на основе результатов моделирования можно разрабатывать агротехнические меры, адаптированные к местным условиям, что станет важной основой для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 23 октября 2019 года № ПФ-5853 «О утверждении Стратегии развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы». URL: <https://lex.uz/uz/docs/4567337> (дата обращения: 15.02.2025).
2. Халикулов Ш., Узоков П., Бобоходжаев И. Почвоведение: учебник. Т., 2016. 380 с.
3. Ануарбеков К., Куватова Г., Алдиярова А. Оценка физического состояния засоленных почв и рациональное использование их в орошаемом земледелии // *Izdenister natigeler*. 2023. № 3 (99). С. 308–319. DOI: 10.37884/3-2023/31.
4. Singh Prashant, Mishra Anil Kumar, Jaiswal Smita, Kumar Love, Kumar Amit, Kumar Amit. Comparison of the performances of SALTALC and LEACHMOD models for simulating the drainage and soil salinity conditions // *Journal of Soil and Water Conservation*. 2023. Т. 22. № 1. С. 65–74. DOI: 10.5958/2455-7145.2023.00009.7.
5. Chien N.Q., Van Trinh M. Using LEACHMOD model to simulate salinity dynamics in paddy land in Rang Dong farm, Nghia Hung district, Nam Dinh province // *Journal of Environmental Science*. 2019. С. 82–88. URL: <https://scholar.dlu.edu.vn/thuvienso/bitstream/.../DLU123456789/124962/1/CVv490S092019082.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).
6. Oosterbaan R.J. Reclamation of a coastal saline vertisol by irrigated rice cropping, interpretation of the data with a salt leaching model // *International Journal of Environmental Science*. 2019. Т. 4. С. 48–60. URL: <https://www.ias.org/home/caijes/reclamation-of-a-coastal-saline-vertisol-by-irrigated-rice-cropping-interpretation-of-the-data-with-a-salt-leaching-model> (дата обращения: 15.02.2025).
1. Abdibay A., Anuarbekov K., Mukhamadiyev N., Mengdibayeva G. Assessment of water-salt regime of irrigation system // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2024. Т. 22. № 5. С. 1173–1181. URL: https://cjes.guilan.ac.ir/article_7552_91057199c8b40370258_a70d4c8752b5f.pdf (дата обращения: 15.02.2025).