

многофакторного лимитирующего роста бактерий, при увеличении в поровом растворе почвы концентрации аммонийного азота от 0,48 до 12 мг/л и кислорода от 0,08 до 2 мг/л (ч^{-1}).

Константы Моно для бактерий имеют очень небольшие значения. Для гетеротрофов типичные значения константы Моно по органическому субстрату, $K_s = 1...10$ мг/л, а по кислороду (для аэробов) $K_o = 0,1...0,2$ мг/л. Для бактерий diaзотрофов, относящихся к автотрофам, $K_N = 1$ мг/л (в расчетах, значения констант приняты по данным из открытых источников информации).

Удельная скорость роста азотфиксирующих бактерий (для многофакторного лимитирующего роста бактерий, при увеличении в поровом растворе почвы концентрации аммонийного азота от 0,48 до 12 мг/л и кислорода от 0,08 до 2 мг/л), ч^{-1} .

Выводы

1. Исследование таких аспектов жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, как биологическая фиксация азота и взаимоотношения с высшими растениями, в том числе с использованием методов математического моделирования, будут способствовать более грамотному и обоснованному планированию мелиоративных режимов, регулированию почвенного плодородия и продуктивности сельскохозяйственных культур.

2. Модели позволяют концентрировать и развивать фундаментальные знания о изучаемых процессах, осуществлять количественную оценку и прогнозировать развитие процессов во времени, разрабатывать на их основе новых микробиологических препаратов, методов и дозировки их внесения в почву, установления требуемых значений показателей мелиоративного режима.

ЛИТЕРАТУРА

1. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 2019. № 8. С. 83–96.
2. Умаров М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2009. № 2. С. 22–26.
3. Алферов А.А. Ассоциативный азот, урожай и устойчивость агроэкосистемы. М.: РАН, 2020. 184 с.
4. Игнатов В.В. Биологическая фиксация азота и азотфиксаторы // *Соросовский образовательный журнал*. 1998. № 9. С. 28–33.

5. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // *Плодородие*, 2016. № 5. С. 28–32.

6. Ризосферные бактерии / Н.В. Феоктистова, А.М. Марданова, Г.Ф. Хадиева, М.Р. Шарипова // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки*. 2016. Т. 158, кн. 2. С. 207–224.

7. Карашаева А.С. Ассоциативные diaзотрофы и их взаимодействие с растениями // *Молодой ученый*. 2016. № 6(110). С. 350–353. URL: <https://moluch.ru/archive/110/26656/> (дата обращения: 20.11.2023).

8. Шотт П.Р. Биологическая фиксация азота в однолетних агроценозах лесостепной зоны Западной Сибири: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук. Барнаул, 2007. 39 с.

9. Кравченко Л.В. Роль корневых экзометаболитов в интеграции микроорганизмов с растениями: автореф. дис. ... доктора биол. наук. М., 2000. 51 с.

REFERENCES

1. Zavalin A.A., Alferov A.A., Chernova L.S. Associative nitrogen fixation and the practice of using biopreparations in agricultural crops // *Agrochemistry*. 2019. No. 8. Pp. 83–96.
2. Umarov M.M. Nitrogen fixation in associations of organisms // *Problems of agrochemistry and ecology*, 2009. No. 2. P. 22–26.
3. Alferov A.A. Associative nitrogen, yield and sustainability of agroecosystems. Moscow: RAS, 2020. 184 p.
4. Ignatov V.V. Biological nitrogen fixation and nitrogen fixers // *Soros educational journal*. 1998. No. 9. P. 28–33.
5. Tikhonovich I.A., Zavalin A.A. Prospects for the use of nitrogen-fixing and phyto-stimulating microorganisms to increase the efficiency of the agro-industrial complex and improve the agroecological situation of the Russian Federation // *Fertility*, 2016. No. 5. P. 28–32.
6. Feoktistova N.V., Mardanova A.M., Khadieva G.F., Sharipova M.R. Rhizosphere bacteria // *Uchen. zap. Kazan. University. Ser. Natural sciences*. 2016. Vol. 158, book 2. P. 207–224.
7. Karashaeva A.S. Associative diazotrophs and their interaction with plants // *Young scientist*. 2016. No. 6(110). P. 350–353. URL: <https://moluch.ru/archive/110/26656/> (date of access: 20.11.2023).
8. Schott P.R. Biological nitrogen fixation in annual agrocenoses of the forest-steppe zone of Western Siberia: Abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences. Barnaul, 2007. 39 p.
9. Kravchenko L.V. The role of root exometabolites in the integration of microorganisms with plants: Abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. M., 2000. 51 p.

Максимов Сергей Алексеевич, доктор техн. наук, зав. отделом мелиорации земель, s.a.maksimov@mail.ru; **Стрельбицкая Елена Брониславовна**, канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, strelbitskaya.elena@mail.ru; **Ремез Иван Александрович**, инженер отдела мелиорации земель, ivanrem.gian@mail.ru (ФГБНУ ФНИЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», г. Москва).

УДК 633.491:528.8

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-2-20-24

ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ ПО ЗНАЧЕНИЮ ИНДЕКСА NDVI НА ЭРОДИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

М.С. ЗВЕРЬКОВ, С.С. СМЕЛОВА, Т.Г. СТЕПАНОВА

Ключевые слова: урожайность, вегетационный индекс, NDVI, прогноз, спутниковый снимок, дистанционное зондирование, эрозия почвы.

Keywords: yield, vegetation index, NDVI, forecast, satellite image, remote sensing, soil erosion.

Аннотация. В статье приводится пример прогноза урожайности культуры среднеспелого орошаемого картофеля (*Solanum tuberosum* L.) по динамике индекса NDVI в пиковую фазу вегетации. Для прогноза использовался набор спектральных изображений спутника Sentinel-2 (Европейского космического агентства). Расчеты выполнены в геоинформационной системе QGIS и SAGA GIS. По данным прогноза урожайность *Solanum tuberosum* L. составила 358,66 ц/га, ошибка прогноза

по сравнению с фактически полученной – 5,5%. Приводится расчет экономического риска потери урожая от эрозии почвы.

Abstract. An example of the forecast of the yield of the crop of medium-ripened irrigated potatoes (*Solanum tuberosum* L.) on the dynamics of the NDVI index during the peak phase of vegetation is considered in the article. For the forecast, a set of spectral images of the Sentinel-2 satellite (European Space Agency) was used. Calculations are performed in the geoinformation system u SAGA GIS. According to the forecast, the yield of *Solanum tuberosum* L. was 358.66 c/ha, the forecast error compared to the actual one was 5.5%. Calculation of economic risk of crop loss from soil erosion is given.

Введение. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур крайне важна для планирования и ведения устойчивого аграрного производства. Эта информация необходима ученым и фермерам для выявления аномалий урожайности, вызванных изменением условий окружающей среды в течение вегетационного периода. Также эти данные играют ключевую роль для решения вопросов продовольственной безопасности, государственной аграрной политики и экспорта продукции агропромышленного комплекса. В настоящее время для этих целей обычно используются данные Росстата, осредненные для регионов и в масштабах Российской Федерации за прошедший период. Но, не смотря на грубое осреднение, эти данные позволяют анализировать ключевые тренды развития отрасли. Вместе с тем, как отмечается в [1–3] подобная официальная статистика урожайности не подходит для установления различий, вызванных местными условиями окружающей среды.

Достоверная и своевременная информация о состоянии посевов и почвенного покрова, оценка качества и количества будущего урожая и, как следствие, прогноз цен на аграрную продукцию оказывают существенное влияние как на экономику отдельного региона, так и мировую торговлю в целом. Концепцией государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения до 2020 г. предусмотрено решение задачи по получению объективной картины состояния почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных земель путем развития дистанционного зондирования как наиболее оперативного и объективного источника информации о плодородии земель сельскохозяйственного назначения. Прогнозирование урожайности и валового сбора сельскохозяйственных культур являются важным звеном в системе поддержки принятия управленческих решений в аграрном секторе, способствующих увеличению выручки от реализации сельскохозяйственной продукции. Это повышает требования к их точности и заблаговременности.

Перед Минсельхозом России в настоящее время стоит серьезный вызов по внедрению цифровых сервисов, позволяющих в оперативном режиме оценивать, в частности, состояние мелиорируемых земель и сельскохозяйственных культур [4, 5]. В этой связи использование современных методов мониторинга и оценки урожайности посевов является актуальным инструментом оптимизации ресурсов. Урожайность является интегральным показателем состояния сельскохозяйственных земель. Внедрение технологий дистанционного мониторинга позволяет не только оптимизировать расходы на производство и повысить урожайность, но также снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. Данные дистанционного зондирования Земли на регулярной основе позволяют проводить наблюдения за динамикой развития сельскохозяйственных культур и составлять прогнозы урожайности. Спутниковые методы прогнозирования урожайности являются наиболее перспективными среди других методов в связи с их объективностью, оперативностью и возможностью охвата больших территорий.

Исследователи используют разные расчетные индексы для мониторинга состояния посевов. Наибольшее

распространение получили так называемые вегетационные индексы. Исследователи отмечают, что эти индексы могут быть успешно использованы в эмпирических моделях урожайности с коэффициентом детерминации R^2 в диапазоне от 0,14 до 0,88 [6–8]. Одним из достоинств этих моделей является их высокое пространственное разрешение. Наибольшее распространение получил Normalized difference vegetation index (NDVI) – нормализованный разностный вегетационный индекс. Временные ряды NDVI на разных стадиях роста сельскохозяйственных культур или в течение всего вегетационного периода являются хорошим предиктором в моделях урожайности сельскохозяйственных культур [9].

Цель исследования заключалась в прогнозе урожайности культуры среднеспелого орошаемого картофеля (*Solanum tuberosum* L.) по динамике индекса NDVI в пиковую фазу вегетации.

Материалы и методы исследований. Мелиорируемый участок расположен на землях АО «Северка» в Коломенском городском округе Московской области в с. Шкинью. В соответствии со схемой севооборота в 2024 г. на опытный участок площадью 6,34 га выращивали картофель сорта Прайм. Полив осуществляли дождеванием широкозахватной дождевальной машиной кругового действия. Для посева использовали семена репродукции РС-1 (первая, посадочный материал, фракция 35...45). Сорт среднеспелый, клубень овальный, круглый. Глазки мелкие, кожура и мякоть желтые. Устойчив к раку, патотип I и к золотистой картофельной нематодой (R01). Включен в Госреестр по Центральному региону. Схема посадки: глубина посадки 17 см, расстояние между клубнями 24 см, ширина междурядья 75 см, ширина гребня 60 см. Расход посадочного материала – 3368,27 кг/га. Начало и конец посадки соответственно 18.05.2024 и 19.05.2024. Начало и конец уборки соответственно 12.09.2024 и 01.10.2024. Учетная урожайность (хозяйственная) составила 340 ц/га.

Пиковая фаза вегетации – цветение растений, критический период формирования качества клубней и накопления примерно 75% их массы. По фенологическим наблюдениям эта фаза в среднем наступила на 65...70-й день после посадки, что соответствует биологическим срокам. На пиковую фазу вегетации отсутствуют безоблачные снимки. Наиболее релевантными снимками является набор спектральных изображений спутника Sentinel-2 (Европейского космического агентства) за 27.07.2024. Для построения графика хода вегетационных индексов, изучения состояния посевов дополнительно использовались снимки на 03.05, 20.05, 30.05, 12.06, 19.06, 04.07, 17.07, 27.07, 16.08, 28.08, 07.09, 20.09, 25.09.

Расчет NDVI выполнен по методу микширования исходных геопривязанных растровых изображений ближнего инфракрасного (NIR, B08) и красного (RED, B04) областей спектра снимков Sentinel-2 с использованием программы QGIS (ver. 3.28.1 Firenze). Исходные растры имеют метаданные драйвера GDAL – GeoTIFF, тип данных – Byte (8-битное беззнаковое целое), система координат EPSG:4326 – WGS 84. Векторизация итогового растра NDVI выполнена в среде геоинформационной системы SAGA GIS 9.3.1. Оцен-

МЕЛИОРАЦИЯ И УРОЖАЙ

ка площадей выполнена с помощью функции геометрии полигонального объекта \$area\$.

Потенциальная урожайность за счет поступления фотосинтетически активной радиации (ФАР) рассчитана по формуле А.А. Ничипоровича. Суммарная ФАР для оценки потенциальной продуктивности оценена по сумме прямой и рассеянной солнечной радиации по справочным данным согласно [10]. Накопленный посевами *Solanum tuberosum* L. приход ФАР за период вегетации культуры составил 20,71 ккал/см².

Корректировка потенциальной урожайности по приходу ФАР и с учетом ординат NDVI выполнена по авторской методике. Зная значения U_{FAR} , $U_{ст.вл}$ и график хода вегетационного индекса NDVI, можно составить прогноз урожайности сельскохозяйственных культур. Для точного прогнозирования урожайности необходимо брать в расчет значение NDVI, приходящееся на момент пика созревания культуры, то есть максимальное значение. После векторизации раstra для каждой фазы на протяжении вегетационного периода получен набор атрибутивных данных со значениями NDVI. Эти данные используются в прогнозе урожайности $U_{пр}$ по зависимости:

$$U_{пр,i} = f(NDVI_i(x_i, y_i); U_{ст.вл.}),$$

где $NDVI_i$ – значение вегетационного индекса в векторизованном участке поля с координатами центра (x_i, y_i) .

Последовательно вычисляя значение урожайности $U_{пр,i}$ в каждом векторизованном участке поля с координатами центра (x_i, y_i) получают набор данных, раз-

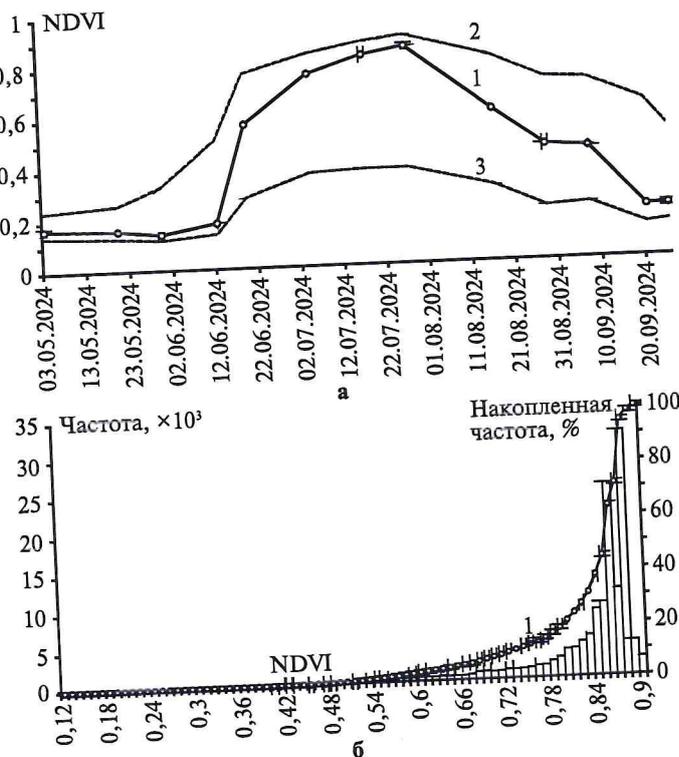


Рис. 1. График хронологического хода (а) и гистограмма за 27.07.2024 (б) значений NDVI для *Solanum tuberosum* L. на опытном участке:
1 – NDVI; 2, 3 – соответственно максимальные и минимальные NDVI

мер которого соответствует исходному набору атрибутивной информации NDVI. Полученные значения $U_{пр,i}$ используются для построения карты зон продуктивности поля.

Зональная статистика NDVI (медиана median, минимальные min и максимальные max значения) рассчитывалась в среде программы QGIS (v. 3.28.1 Firenze). Обработка данных по методу группировки интервалов, расчета частот (с графиком накопления частот – интегральным %), и графическое оформление результатов исследования выполнены в электронных таблицах Microsoft Excel (v. 16.10 Build 180124 (2018)). Уровень статистической значимости принят 0,05, рассчитывалось стандартное отклонение s и доверительный интервал медианы.

Наблюдение за метеорологическими параметрами на опытном участке организовано с помощью цифровой метеорологической станции Davis Vantage Pro2 6152CEU.

При расчете экономического риска эрозии C приняты следующие допущения: сумма эколого-экономических ущербов за пределами изучаемого участка отсутствует. А сумма локальных эффектов из-за риска эрозии выражается только недобором урожая из-за неэффективного использования площади участка. Тогда стоимость ущерба C_c от потери урожая составит:

$$C_c = C(Y_{pot}) - C(Y) = C_y(Y_{pot} - Y), \quad (1)$$

где $C(Y_{pot})$ – потенциально возможный доход (экономический эффект, прибыль) от реализации урожая; $C(Y)$ – доход за реально собранный урожай; C_y – цена реализации единицы урожая.

Для условий расчета значение $C_y = 29002,95$ руб./т принято по средней для Московской области (за ноябрь 2024 г.) цене производителей сельскохозяйственной продукции на картофель по данным Росстата.

Результаты и обсуждение. На рис. 1а показан график хронологического хода NDVI для *Solanum tuberosum* L., на рис. 1б – гистограмма распределения значений вегетационного индекса в пиковую фазу вегетации. Медианное значение вегетационного индекса составило $0,86 \pm 0,04$ ($s = 0,15$), min – 0,38, max – 0,9. Коэффициент вариации равен 0,19, то есть статистически ряд данных характеризуется как достаточно однородный.

По методике А.А. Ничипоровича потенциальная урожайность по приходу ФАР (3% использования) составила 417,04 ц/га при соотношении основной и побочной продукции соответственно как 1:0,7 и стандартной влажности 80%. Прогнозная урожайность основной продукции составила 358,66 ц/га. Отклонение фактически собранного картофеля (хозяйственной урожайности) составило 5,5% (ошибка прогноза).

На рис. 2 приведены карты NDVI (а) за 27.07.2024, рассчитанные на ее основе зоны продуктивности (б) и граница эрозионных процессов (в). Из анализа рис. 2а, б следует, что флуктуации зоны пониженной продуктивности (<200 ц/га) приурочены к контурам деградационных процессов (эрозии по направлению стока и в зонах «вымочек») и составляет по площади не более 0,01 га (0,25%). Однако эрози-

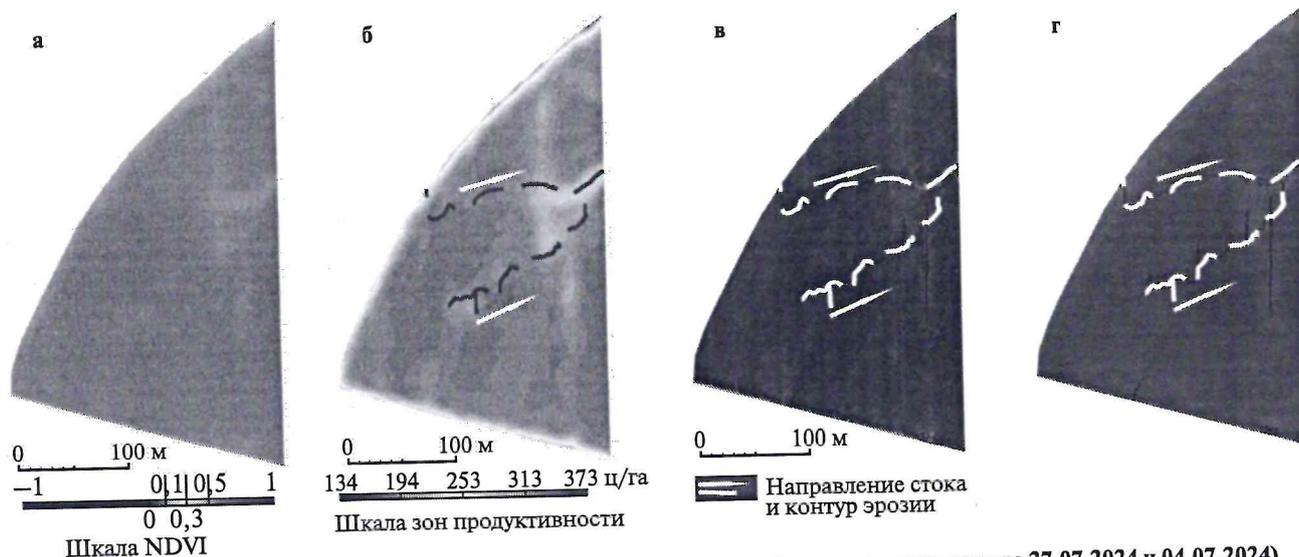


Рис. 2. Карты NDVI (а), зон продуктивности (б), эрозионных процессов (в, г – соответственно за 27.07.2024 и 04.07.2024)

онные процессы на снимке (рис. 2в) визуализируется на большей площади. Высокие значения NDVI в этой зоне обусловлены засоренностью посевов.

В целях определения площади эрозионных зон проводились натурные обследования участка. Установлено, что в результате проявления ирригационной эрозии, обусловленной топографическими особенностями поверхности участка в первой декаде июля 2024 г., наблюдалось отставание в развитии культуры картофеля. Для картографирования эродированного участка использован снимок Sentinel-2 (Европейского космического агентства) за 04.07.2024 (в статье не приводится), на котором отчетливо визуализируются эродированные участки. К этому периоду растения активно наращивают наземную вегетативную массу (кустятся) перед вступлением в фазу бутонизации. На снимке за 27 июля эрозия визуализируется слабо, наиболее отчетливо только на оголенном участке с явно выраженным процессом. Обследование участка в условиях *in situ* показало, что русло стока в основном заросло сорной растительностью, из-за чего карта NDVI эрозионную обстановку явным образом не характеризует (см. рис. 2а). По результатам картографирования установлено, что зона эрозии составляет 0,15 га (2,41 % от общей площади). Дифференцированная оценка экономического риска потери урожайности картофеля от эрозии почвы по формуле (1) составляет 494242,7 руб. без учета прямых затрат на собственные семена, операций по технологической карте на возделывание культуры.

Заключение. В результате проведенного исследования показан пример прогноза урожайности культуры среднеспелого орошаемого картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Прайм по динамике индекса NDVI в пиковую фазу вегетации. Научно-практическая значимость результатов исследования состоит в том, что методика, представленная в исследовании, может быть адаптирована для фенологических наблюдений и изучения продуктивности посевов *Solanum tuberosum* L. в других условиях.

ЛИТЕРАТУРА

- Vannoppen A., Gobin A. Estimating Yield from NDVI, Weather Data, and Soil Water Depletion for Sugar Beet and Potato in Northern Belgium // *Water*. 2022. Vol. 14, 1188. DOI: 10.3390/w14081188.
- Agroclimatic Conditions in Europe under Climate Change / M. Trnka, J.E. Olesen, K.C. Kersebaum et al. // *Glob. Chang. Biol.* 2011. Vol. 17. P. 2298–2318.
- Coincidence of Variation in Yield and Climate in Europe / P. Peltonen-Sainio, L. Jauhainen, M. Trnka et al. // *Agric. Ecosyst. Environ.* 2010. Vol. 139. P. 483–489.
- Оценка коэффициента земельного использования методами дистанционного зондирования на мелиоративной системе Московской области / С.В. Брыль, А.Е. Беденко // *Экология и строительство*. 2024. № 1. С. 35–42. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-01-005.
- Анализ и интегральная оценка технико-экологического состояния мелиоративного комплекса Российской Федерации / Г.В. Ольгаренко, Т.А. Капустина // *Экология и строительство*. 2024. № 4. С. 43–51. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-006.
- Weiss M., Jacob F., Duveiller G. Remote Sensing for Agricultural Applications: A Meta-Review // *Remote Sens. Environ.* 2020. Vol. 236, 111402.
- The ARYA Crop Yield Forecasting Algorithm: Application to the Main Wheat Exporting Countries / B. Franch, E. Vermote, S. Skakun et al. // *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2021. Vol. 104, 102552.
- Synergistic Integration of Optical and Microwave Satellite Data for Crop Yield Estimation / A. Mateo-Sanchis, M. Piles, J. Muñoz-Mari et al. // *Remote Sens. Environ.* 2019. Vol. 234, 111460.
- A Systematic Review of Vegetation Indices for Potato Growth Monitoring and Tuber Yield Prediction from Remote Sensing / A. Mukiibi, A.T.B. Machakaire, A.C. Franke et al. // *Potato Res.* 2025. Vol. 68. P. 409–448. DOI: 10.1007/s11540-024-09748-7.
- Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / А.Д. Клещенко, Б.А. Черняков, О.Д. Сиротенко [и др.]; Под ред. А.В. Гордеева. М: Типография Россельхозакадемии, 2007. 236 с.

REFERENCES

- Vannoppen A., Gobin A. Estimating Yield from NDVI, Weather Data, and Soil Water Depletion for Sugar Beet and Potato in Northern Belgium // *Water*. 2022. Vol. 14, 1188. DOI: 10.3390/w14081188.
- Agroclimatic Conditions in Europe under Climate Change / M. Trnka, J.E. Olesen, K.C. Kersebaum et al. // *Glob. Chang. Biol.* 2011. Vol. 17. P. 2298–2318.
- Coincidence of Variation in Yield and Climate in Europe / P. Peltonen-Sainio, L. Jauhainen, M. Trnka et al. // *Agric. Ecosyst. Environ.* 2010. Vol. 139. P. 483–489.
- Otsenka koeffitsienta zemel'nogo ispol'zovaniya metodami distantsionnogo zondirovaniya na meliorativnoi sisteme Moskovskoi oblasti / S.V. Bryl', A.E. Bedenko // *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2024. № 1. S. 35–42. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-01-005.

5. Analiz i integral'naya otsenka tekhniko-ekologicheskogo sostoyaniya meliorativnogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii / G.V. Ol'garenko, T.A. Kapustina // *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2024. № 4. S. 43–51. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-006.

6. Weiss M., Jacob F., Duveiller G. Remote Sensing for Agricultural Applications: A Meta-Review // *Remote Sens. Environ.* 2020. Vol. 236, 111402.

7. The ARYA Crop Yield Forecasting Algorithm: Application to the Main Wheat Exporting Countries / B. Franch, E. Vermote, S. Skakun et al. // *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2021. Vol. 104, 102552.

8. Synergistic Integration of Optical and Microwave Satellite Data for Crop Yield Estimation / A. Mateo-Sanchis, M. Piles, J. Muñoz-Mari et al. // *Remote Sens. Environ.* 2019. Vol. 234, 111460.

9. A Systematic Review of Vegetation Indices for Potato Growth Monitoring and Tuber Yield Prediction from Remote Sensing / A. Mukiibi,

A.T.B. Machakaire, A.C. Franke et al. // *Potato Res.* 2025. Vol. 68. P. 409–448. DOI: 10.1007/s11540-024-09748-7

10. Bioklimaticheskii potentsial Rossii: metody monitoringa v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata / A.D. Kleshchenko, B.A. Chernyakov, O.D. Sirotenko [i dr.]; Pod red. A.V. Gordeeva. M.: Tipografiya Rossiiskoi khokhokademii, 2007. 236 s.

Зверьков Михаил Сергеевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Смелова Светлана Станиславовна**, канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник (ВНИИ систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», Московская обл., г. Коломна).

УДК 633 + 631.6

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-2-24-28

УПРАВЛЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫМ РЕЖИМОМ С ПРОГРАММИРОВАНИЕМ УРОЖАЯ НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

П.И. ПЫЛЕНКО, Р.О. ЕФРЕМОВ

Ключевые слова: мелиоративный режим, программирование урожая капусты, торфяные почвы, ресурсоемкость, экологические ограничения.

Keywords: land reclamation regime, cabbage harvest programming, peat soils, resource intensity, environmental restrictions.

Аннотация. На основе системного анализа и балансового метода исследовано совместное управление мелиоративным режимом торфяной почвы с программированием урожайности капусты, включающее расчеты прогнозируемой урожайности, режима увлажнения дренажными водами и норм внесения минеральных удобрений с учетом экологических и ресурсных ограничений. Предложено фактические нормы минеральных удобрений для внесения под программируемый урожай на рециркуляционных мелиоративных системах увеличивать на количество выноса с инфильтрационными водами и уменьшать на количество поступающих с капиллярными и поливными (дренажными) водами в корнеобитаемый слой элементами питания. Апробация технологии в производственных условиях на двух участка по 50 га показала, что при фактической урожайности капусты 30...33 т/га водопотребление составило 305...335 мм, из которых 50% покрывалось за счет атмосферных осадков и продуктивных влагозапасов почвы, 43% за счет увлажнения дренажными водами и 7% за счет капиллярного притока влаги от грунтовых вод. Ресурсоемкость по расходу оросительной воды снижалась от 43,3 м³/т на первом участке до 34,8 м³/т на втором участке. Ресурсоемкость по затратам агрохимикатов была меньше на первом участке — 13,2 кг/т, чем на втором — 15,1 кг/т. Для получения урожая капусты белокочанной на торфяной почве более 30 т/га в условиях умеренно жаркого и средне засушливого вегетационного периода рекомендуется максимальная оросительная норма 115 мм и максимальная доза минеральных удобрений до 400 кг/га.

Abstract. Based on a systematic analysis and the balance method, the joint management of the peat soil reclamation regime with cabbage yield programming, including calculations of projected yields, drainage water moisture regime, and mineral fertilizer application rates, taking into account environmental and resource constraints, has been studied. It is proposed to increase the actual rates of mineral fertilizers for application under a programmable crop on recycling reclamation systems by the amount of removal from infiltration waters and reduce by the amount of nutrients supplied from capillary and irrigation (drainage) waters to the root layer. Testing of the technology in production conditions on two plots of 50 hectares each showed that with an actual cabbage yield of 30–33 t/ha, water consumption was 305–335 mm, of which 50% was covered by precipitation and productive soil moisture reserves, 43% by moistening with drainage waters and 7% by capillary influx of moisture from groundwater. The resource consumption of irrigation water decreased from 43.3 m³/t in the first section to 34.8 m³/t in the second section. The resource intensity of agrochemicals was lower at the first site (13.2 kg/t) than at the second site (15.1 kg/t). A maximum irrigation rate of 115 mm and a maximum dose of mineral fertilizers up to 400 kg/ha are recommended for harvesting white cabbage on peat soil of more than 30 t/ha in a moderately hot and moderately arid growing season.

Введение. Продуктивность мелиорируемых земель зависит от многих факторов, среди которых водный и пищевой режимы наиболее доступны для непосредственного управления. Научные основы программирования урожая безотносительно условий мелиоративного режима заложены в работах И.С. Шатилова, М.К. Каюмова, Ю.П. Добрачева, А.С. Образцова и др. [5–9, 13, 14]. Применительно к мелиорируемым землям они нуждаются в определенной корректировке, чем определяется актуальность и задачи настоящих исследований. Программирование урожая на мелиорируемых землях имеет определенные преимущества в связи с возможностью управления мелиоративным режимом, включающим факторы почвообразования, роста растений и воздействия на окружающую природную среду (ОПС).

Одновременно возникают и дополнительные сложности, связанные, например, для торфяных почв с противоречием между ростом урожайности и потерями органического вещества торфа, а также загрязнением атмосферы диоксидом углерода. Мелиоративный режим при этом рассматривается как совокупность требований к управляемым факторам почвообразования, роста растений и воздействия на окружающую среду, которые должна обеспечить система мелиоративных мероприятий для достижения поставленной цели [2, 4, 11].

Роль мелиоративного режима возрастает в связи с проблемой управления отходами мелиоративной отрасли, к которым в первую очередь относятся дренажный сток и потоки продуктов минерализации органического вещества торфа в водные объекты и атмосферу. Загрязнение дренажного стока зависит не только от интенсивности мелиоративного воздействия, но в значительной мере еще от агротехнологий, их интенсивности и норм внесения агрохимикатов. Вопрос апробации совместного взаимодействия технологий управления мелиоративным режимом и программирования урожая изучен недостаточно.

Материалы и методы. Методической основой работы являются натурные исследования, системный