

4. Borodychev V.V. Modern technologies of drip irrigation of vegetable crops. Kolomna: research institute «Raduga», 2010, 241 p.

5. Pat. 2576441 Russian Federation. IPC A01G 25/02. Dropper / M.I. Golubenko. Publ. 10.03.2016.

6. Pat. 2686231 Russian Federation. IPC A01G 25/00. Low-pressure drip irrigation network for watering slope lands / M.I. Golubenko. Publ. 24.04.2019.

7. Pat. 2683520 Russian Federation. MPC A01G 25/00, A01G 25/06. Method of irrigation of fruit trees and shrubs on the slopes of a ravine / A.N. Starikov, M.I. Golubenko Publ. 03.28.2019.

8. Pat. 2685139 Russian Federation. IPC A01G 25/00. Method of drip irrigation of fruit and berry shrub crops and flower plants / M.I. Golubenko. Published on 04.16.2025.

9. Pat. 2719029 Russian Federation. IPC A01G 25/00. Low-pressure drip irrigation system for sloping lands / M.I. Golubenko. Published on 04/16/2020.

10. Pat. 2736640 Russian Federation. IPC A01G 25/02, A01G 25/16, A01G 17/00. A method for drip irrigation of perennial plantings of sloping lands / M.I. Golubenko. Published on 11.19.2020.

11. Pat. 2729812 Russian Federation. IPC A01G 22/25, A01G 25/02, A01B 79/02. A method of intensive potato cultivation with soil enrichment with water using a supersorbent for drip irrigation / M.I. Golubenko. Published on 08.12.2020.

12. Pat. 2796683 Russian Federation. IPC A01C 22/25, A01M 5/06. Method of intensive potato cultivation with soil enrichment with

nutrients and harvesting of the Colorado potato beetle and its larvae / S.A. Aprelikov, M.I. Golubenko, A.Ya. Konova. Published on 05.29.2023.

13. Pat. 2622910 Russian Federation. IPC A01G 25/00. Drip irrigation system / M.I. Golubenko. Publ. 21.06.2017.

14. Pat. 2720910 Russian Federation. IPC A01G 9/24, A01G 25/02. The method of watering plants when growing them in protected soil conditions in greenhouses (options) / M.I. Golubenko. Published on 05.14.2020.

15. Voevodina A.A. Assessment of water quality for drip irrigation systems // Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture: Collection of scientific papers FSBI «RosNIIPM». Novocherkassk. 2009. Issue 42. Pp. 174–179.

16. Voevodina L.A. The effect of drip irrigation with Don water on the physico-chemical properties of ordinary chernozems // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2021. No. 2(2). 8 p. URL: <http://www.rosniip-sm.ru/article?n=439> (accessed: 08.20.2021).

Голубенко Михаил Иванович, заслуженный изобретатель Российской Федерации, golubenko-mikhail@mail.ru (ООО «Мещерский научно-технический центр», г. Рязань, Россия); **Умнов Сергей Петрович**, канд. физ.-хим. наук, telio33@mail.ru (ФГБУ Управление «Владимирмелиоводхоз», г. Владимир, Россия); **Мажайский Юрий Анатольевич**, доктор с.-х. наук, профессор, director@mntc.pro (филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Россия).

УДК 631.412

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-5-32-35

РАСЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

А.Н. НИКОЛАЕНКО

Ключевые слова: почва, вода, ионообменное равновесие, солонцовый процесс, качество оросительной воды.

Keywords: soil, water, ion exchange equilibrium, salt process, irrigation water quality.

Аннотация. Структура почв является важной агрофизической характеристикой, которая влияет на потенциальную урожайность возделываемых культур. Основой структуры является почвенный поглощающий комплекс (ППК), состав которого определяется обменным взаимодействием с катионами порового раствора (ПР). Обмен катионов математически описывается различными изотермами, нами используется изотерма Б.П. Никольского. Вводится понятие равновесных и критических состояний, определяющих солонцовый процесс. Предложены показатели качества оросительной воды – дефицит кальция (DK) и C_u , которые имеют определенный физический смысл. В зависимости от соотношений этих показателей оросительная вода делится на 3 класса. Класс воды зависит как от катионного состава оросительной воды, так и от физико-химических характеристик орошаемой почвы. Для расчета показателей и определения класса воды разработана программа для ЭВМ. Приводится пример расчета показателей качества для 3 видов оросительной воды различного состава при орошении чернозема.

Abstract. Soil structure is an important agrophysical characteristic that affects the potential yield of cultivated crops. The basis of the structure is a soil absorbing complex (SAC), the composition of which is determined by the exchange interaction with cations of the pore solution (PS). The exchange of cations is mathematically described by various isotherms, we use the B.P. Nikolsky isotherm. The concept of equilibrium and critical states defining the salt process is introduced. The indicators of irrigation water quality – calcium disadvantage (DK) and C_u , which have a certain physical meaning, are proposed. Depending on the ratios of these indicators, irrigation water is divided into 3 classes. The water class depends on both the cationic composition of the irrigation water and the physico-chemical characteristics of the irrigated soil. A computer program has been developed to calculate the indicators and determine the water class. An example of calculating quality indicators for 3 types of irrigation water of different composition during irrigation of chernozem soil is given.

Введение. Структура почв является важной агрофизической характеристикой, которая влияет на влаго- и воз-

духопроводность, перенос питательных веществ и, в конечном счете, определяет потенциальную урожайность возделываемых культур. Основой структуры является почвенный поглощающий комплекс (ППК), учение о котором К.К. Гедройца [3] ставит почвоведение в ряд фундаментальных наук. При взаимодействии порового раствора (ПР) с ППК устанавливается определенное равновесие химических ингредиентов посредством ионообменных реакций. Исследования К.К. Гедройца, Н.И. Горбунова, Е.Н. Гапона, Б.П. Никольского, И.Н. Антипова-Каратаева и др. позволили сформулировать общие закономерности обмена катионов в дисперсных средах: обмен катионов происходит в эквивалентных количествах и обратим; поглощение катионов увеличивается с увеличением их концентрации в растворе; процесс обмена усиливается с ростом pH раствора; обмен катионов можно математически описывать уравнениями изотерм [4].

Материалы и методы. Исследователями применяются различные изотермы, в которых учитывается обмен основных катионов натрия, кальция и магния, используя их парные отношения в ПР и ППК. Наиболее известны изотермы Б.П. Никольского [7], Е.Н. Гапона [2], А.П. Венселоу [12] и некоторые другие. Фактически различные изотермы обмена это различные функциональные зависимости между концентрациями катионами в ПР и ППК и связанные коэффициентами ионообменного равновесия. Успешность выбора той или иной изотермы определяется относительным постоянством численных значений коэффициентов при изменении концентрации ионов исходных растворов.

В дальнейшем будет использоваться изотерма Б.П. Никольского, аналитическая форма которой соответствует закону действующих масс, и коэффициенты которой наиболее устойчивы для различных растворов, что показано на основе экспериментальных данных [6]. Установившиеся концентрации катионов в ППК определяют структурные свойства почв [9]. Так, содержание натрия свыше 10% для большинства почв способствует слитолизации частиц и проявлению солонцовых свойств, тогда как катионы кальция в ППК структурируют почву. Катионы магния по влиянию на структуру занимают промежуточное значение. Замечено, что превышение содержания магния в воде над кальцием может приводить к проявлению солонцеватых свойств.

Исследователей давно интересует вопрос: как по химическому составу оросительной воды можно предвидеть ее воздействие на структуру почв. Так появились различные классификации качества оросительной воды. Нужно отметить, что структура почвы в целом определяется не только состоянием ППК, но и зависит от дисперсности и коагуляции почвенных коллоидов, а следовательно, зависит от суммарной концентрации солей в оросительной воде [5]. Приведем некоторые существующие классификации оросительной воды.

Одна из классификаций основывается на установленном факте, что для большинства засоленных почв содержание поглощенного натрия в ППК – N_{Na} линейно зависит от отношения концентраций $(Na)/(Ca+Mg)^{1/2}$ в оросительной воде [10]. Приведенное отношение называется SAR, а его численное значение определяет качество воды (чем больше, тем хуже). Однако это справедливо только для ограниченного класса почв (засоленных), кроме того, не учитывается возможность магниевое осолонцевания [11], так как концентрация магния стоит в знаменателе и суммируется с концентрацией кальция.

Другой пример классификации принадлежит С.Я. Бездновой [1]. Классификация предполагает деление качества оросительной воды по показателям общего и хлоридного засоления, натриевого и магниевое осолонцевания и содообразования. Всего выделено 4 класса качества воды. Класс 1 соответствует воде наилучшего качества: оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. 4-й класс соответствует непригодной для орошения воде, без изменения качественного состава и требует ее мелиорации. 2-й и 3-й классы занимают промежуточное положение по влиянию на почву, урожайность и качество продукции. Для каждого класса приведен допустимый предел численных значений показателей установленных эмпирическим путем. Сложность установления класса качества воды возникает, когда численные значения показателей принадлежат разным классам. В целом же система С.Я. Бездновой оказывается практически полезной для первичной оценки качества воды и принятия решения о возможности орошения для большинства почв при учете градации отдельных показателей качества.

Результаты и обсуждения. Автором для оценки влияния качества воды на структуру почв через состав

ППК предложен метод, основанный на использовании изотерм ионообменной сорбции. При этом учитывается как химический состав оросительной воды, так и физико-химические свойства орошаемых почв, их сорбционная избирательность по отношению к катионам. Эта избирательность характеризуется коэффициентом ионообменного равновесия. Рассмотрим количественную сторону этого явления.

Распределение обменных катионов между сорбированной и жидкой фазами почв при условии равновесия будем описывать изотермой Никольского:

$$N_i^z / N_j^z = K_{i-j} C_{pi}^z / C_{pj}^z, \quad (1)$$

где C_p – равновесная концентрация катиона в растворе, мг-экв/л, соответствующая содержанию этого катиона в ППК – N , мг-экв/100 г; z – валентность; i, j – типы катионов; K_{i-j} – экспериментальный коэффициент ионообменного равновесия.

Для описания равновесия трехкатионной системы, содержащей Na, Ca, Mg, достаточно двух уравнений типа (1) и условия постоянства емкости обмена: $Q = N_{Ca} + N_{Mg} + N_{Na}$.

$$N_{Na} / (N_{Ca})^2 = K_{Na-Ca} C_{pNa} / (C_{pCa})^2; \quad (2)$$

$$(N_{Mg} / N_{Ca})^2 = K_{Mg-Ca} (C_{pMg} / C_{pCa})^2. \quad (3)$$

Если концентрация ионов Na, Ca и Mg в воде равна C_{Na} , C_{Ca} , C_{Mg} , то при промывном режиме орошения можно положить $C_{pNa} = C_{Na}$, $C_{pMg} = C_{Mg}$. Подставив эти значения в уравнения (2)–(3), выразим значения равновесной концентрации Ca, определенной относительно ионов Na – $C_{pCa}(Na)$ и Mg – $C_{pCa}(Mg)$, получим:

$$C_{pCa}(Na) = \frac{N_{Ca} C_{Na}^2 K_{Na-Ca}^2}{N_{Na}^2}; \quad (4)$$

$$C_{pCa}(Mg) = \frac{N_{Ca} C_{Mg} K_{Mg-Ca}^2}{N_{Mg}}; \quad (5)$$

где N – исходное содержание соответствующих катионов в ППК.

Каждая из этих формул определяет концентрацию Ca в воде, необходимую для сохранения исходного равновесия катионов в ППК. Если из двух значений, определяемых по формулам (4) и (5), выбрать максимальное, то это значение будет характеризовать концентрацию Ca в оросительной воде, ниже которой будет происходить увеличение содержания катионов Na или Mg, либо того и другого одновременно за счет вытеснения иона Ca из ППК. Допустимый предел уменьшения содержания Ca в оросительной воде будет определяться соотношением катионов ППК, при котором проявляются солонцовые свойства почв. Назовем такое состояние почвы критическим. Согласно экспериментальным данным такое состояние для большинства почв начинает проявляться, когда поглощенный Na достигает 0,1 от емкости поглощения Q , а концентрация Mg в воде равна или больше концентрации Ca. Из условия постоянства емкости обменных катионов также следует:

$$1 = \frac{N_{Na}^{kp} + N_{Ca}^{kp} + N_{Mg}^{kp}}{Q}, \quad (6)$$

где N^{kp} – содержание катионов ППК, соответствующее критическому состоянию почвы, при котором проявляются ее солонцовые свойства. Учитывая что $N_{Na}^{kp}/Q = 0,1$ и полагая $C_{Mg} = C_{Ca}$, получим:

$$N_{Ca}^{kp}/Q = 0,9/(1 + K_{Mg-Ca}^2);$$

$$N_{Mg}^{kp}/Q = 0,9K_{Mg-Ca}^2/(1 + K_{Mg-Ca}^2).$$

Тогда равновесные концентрации Са, соответствующие критическому состоянию почвы $C_{Ca}^{kp}(Na)$, $C_{Mg}^{kp}(Mg)$, согласно формулам (4) и (5), будут равны:

$$C_{pCa}^{kp}(Na) = \frac{90K_{Na-Ca}^2 C_{Na}^2}{Q(1 + K_{Mg-Ca}^2)}$$

$$C_{Ca}^{kp}(Mg) = C_{Mg}.$$

Таким образом, равновесные концентрации Са, соответствующие исходному и критическому состоянию почв, включают в себя как физико-химические характеристики почвы, так и концентрационные характеристики катионного состава раствора и могут быть приняты за стандартные состояния, относительно которых можно производить оценку оросительной воды. Разница значений максимальной равновесной концентрации Са, определяемой формулами (4) и (5), и фактической концентрации Са в оросительной воде дает недостаток Са в оросительной воде.

Обозначим этот показатель DK (дефицит Са оросительной воды):

$$DK = \max\{\Delta C_{Ca}(Na), \dots, \Delta C_{Ca}(Mg)\}.$$

Таблица 1

Катионный состав оросительной воды

Вода	Концентрация катионов, мг-экв/л		
	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Оросительная	5,0	10,0	5,8
Смешанная	12,0	11,0	10,8
Дренажная	21,0	6,3	14,2

Таблица 2

Физико-химические характеристики орошаемой почвы

Почва	Исходный состав ППК, мг-экв/100 г				Коэффициент ионного обмена	
	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Q	K _{Na-Ca}	K _{Mg-Ca}
Чернозем	1	23	3	27	0,125	0,847

Показатели качества и классы оросительной воды для черноземной почвы

Вода	Расчитанные показатели, мг-экв/л						Класс воды
	C _{pCa} (Na)	C _{pCa} (Mg)	C _{pCa} ^{kp} (Na)	C _{pCa} ^{kp} (Mg)	DK	C _μ	
Оросительная	9,0	31,9	0,8	5,8	21,9	-4,2	2
Смешанная	51,8	59,4	7,1	10,8	48,4	-0,2	2
Дренажная	158,5	78,1	12,9	14,2	152	7,91	3

Физико-химический смысл этого показателя состоит в том, что он равен концентрации иона кальция, которую необходимо добавить в оросительную воду, чтобы не происходил сдвиг содержания ППК в сторону осолонцевания. Кроме того, вводится показатель C_{μ} , который определяет дефицит кальция относительно его критической концентрации в данной почве.

Устранение дефицита кальция в оросительной воде может достигаться добавлением соли, содержащей ион Са, например гипса, фосфогипса. Таким образом, вода для орошения конкретной почвы может быть трех классов, которые определяются соотношением показателей DK и C_{μ} .

Класс 1 соответствует воде хорошего качества, для этого класса $DK < 0$, $C_{\mu} < 0$. Вода не требует мелиорации, и орошение почвы такой водой не приводит к негативным изменениям структуры почвы.

Класс 2 – вода удовлетворительного качества, $DK > 0$, $C_{\mu} < 0$. Орошение почвы такой водой приводит к сдвигу концентрации катионов в ППК в сторону признаков осолонцевания, но которые не достигают критических значений. Для перевода такой воды в класс 1 необходима ее мелиорация – добавление иона кальция в концентрации равной DK (мг-экв/л). При использовании в качестве мелиоранта гипса растворение его в количестве 1 г/л соответствует увеличению концентрации иона кальция в воде, равным 11,6 мг-экв/л.

Класс 3 – вода не удовлетворительного качества, $DK > 0$, $C_{\mu} > 0$. Орошение почвы водой этого класса приводит к осолонцеванию. Необходимо мелиорация оросительной воды или внесения мелиоранта в почву. Доза мелиоранта для оросительной воды равна DK или C_{μ} , мг-экв/л.

Таким образом, можно рассчитывать дозу мелиоранта для предотвращения осолонцевания почвы при орошении ее водой конкретного химического состава. Для автоматизации расчета показателей качества оросительной воды разработана программа в среде Excel [8]. Для расчета по программе необходимо задать содержание катионов в оросительной воде (табл. 1) и физико-химические характеристики орошаемых почв (табл. 2). В табл. 2 входят коэффициенты парного ионного обмена изотермы Б.П. Никольского K_{Na-Ca} , K_{Mg-Ca} . Определение этих коэффициентов проведено на основе экспериментальных данных по установлению равновесия между катионами раствора и ППК. Для расчета выбран чернозем Куйбышевской обл., Сыртовое Заволжье, село Красноармейское.

Далее приведен пример расчета показателей качества оросительной воды по отношению к солонцовому процессу. Для расчета использовались три вида оросительной воды, различных по химическому со-

Таблица 3

ставу, условно обозначенных «оросительная», «сточная» и «дренажная», которыми предполагается поливать данную почву. В табл. 1 приведен катионный состав оросительной воды различного качества, в табл. 2 – физико-химические характеристики орошаемой почвы, в табл. 3 – расчитанные показатели качества и класс оросительной воды.

Из данных табл. 3 следует, что для орошения данной почвы пригодна вода «оросительная» и «смешанная», орошение же «дренажной» водой может привести к негативным последствиям — осолонцеванию почвы. Повышение класса пригодности воды может быть достигнуто ее мелиорацией, например добавлением гипса. Учитывая растворимость гипса при нормальных условиях, максимальная концентрация кальция, на которую можно увеличить его содержание в оросительной воде при однократном применении, равна 28,4 мг-экв/л, что соответствует растворимости гипса — 2,5 г/л.

Заключение. Предложен количественный метод оценки качества воды и ее влияния на возможность развития солонцового процесса. Метод основан на моделировании равновесных состояний и использования изотерм ионообменной сорбции Б.П. Никольского. Приведены примеры расчета влияния вод различного состава на структурные свойства почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безднина С.Я. Качество воды для орошения: принципы и методы оценки. М.: РОМА, 1997. 185 с.
2. Гапон Е.Н. Теория обменной сорбции в почвах // Журнал общей химии. 1933. № 3. С. 144–163.
3. Гедройц К.К. Избранные труды. М.: Наука, 1975. 638 с.
4. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики. Киев: Изд. объедин. «Высш. школа», 1975. 268 с.
5. Экологические требования к качественному составу оросительных вод, обеспечивающих предотвращение засоления и осолонцевания почв. М.: Центр научно-технической информации, пропаганды и рекламы, 1995. 33 с.
6. Николаенко А.Н. Моделирование и экспериментальное определение коэффициентов изотерм ионообменного равновесия в почвах // Высшая школа: научные исследования: материалы межвузовского международного конгресса (г. Москва, 30 марта 2023 г.). М.: Инфинити, 2023. С. 155–158.
7. Никольский Б.П., Парамонова В.И. Законы обмена ионов между твердой фазой и раствором // Успехи химии. 1939. Т. 8, вып. 10. С. 14–17.
8. Павлушенко В.А., Николаенко А.Н. Расчет воздействия оросительной воды на структуру почв и ее мелиорация в случае развития процесса осолонцевания: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2022682573 от 24.11.2022.
9. Nikolaenko A.N., Kavokin A.A. Modeling the Connection of Soil Structure with the Content of Organic Matter and Exchangeable Ca^{2+} and Mg^{2+} Cations // Moscow University Soil Science Bulletin, 2020. No. 2, Pp. 82–86.

10. U.S. Salinity Laboratory Staff 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and alkaline soils // U.S. Dept. Agric. Haydbook 60. 10 Szabolich Darab K.

11. Szabolich Darab K. Salt Balance Salt Trans // 9th Int. Conf. of Soil Sci VI, Adelaide, Australia, 1955.

12. Venselow A.P. Equilibria of the Base Exchange Reaction on Bentonites, Permutites, Soil Collods and Zeolites // Soil Sci. 1932. V. 33. P. 95–113.

REFERENCES

1. Bezdina S.Ya. Water quality for irrigation: principles and methods of assessment. M., ROMA, 1997. 185 s.
2. Gapon E.N. Theory of exchange sorption in soils // Journal of General Chemistry. 1933. № 3. Pp. 144–163.
3. Giedroyc K.K. Selected works. M.: Nauka, 1975. 638 p.
4. Kruglitsky N.N. Fundamentals of physicochemical mechanics. Kyiv: Ed. Obed. «Higher. school», 1975. 268 s.
5. Environmental requirements to the quality composition of irrigation waters ensuring prevention of salinization and salinization of soils. M.: Center for Scientific and Technical Information, Propaganda and Advertising, 1995. 33 s.
6. Nikolayenko A.N. Modeling and experimental determination of ion-exchange equilibrium isotherm coefficients in soils // Higher School: scientific research: materials of the Interuniversity International Congress (Moscow, March 30, 2023), Moscow: Infinity, 2023. P. 155–158.
7. Nikolsky B.P., Paramonova V.I. The laws of ion exchange between the solid phase and the solution // Successes of chemistry. 1939. Vol. 8, no. 10. Pp. 14–17.
8. Pavlushchenko V.A., Nikolaenko A.N. Program for a computer «Calculation of the impact of irrigation water on the soil structure and its reclamation in the event of the development of the salinization process»: Certificate of state registration of the computer program, No. 2022682573 dated 24.11.2022.
9. Nikolaenko A.N., Kavokin A.A. Modeling the Connection of Soil Structure with the Content of Organic Matter and Exchangeable Ca^{2+} and Mg^{2+} Cations // Moscow University Soil Science Bulletin. 2020. No. 2, Pp. 82–86.
10. U.S. Salinity Laboratory Staff 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and alkaline soils // U.S. Dept. Agric. Haydbook 60. 10 Szabolich Darab K.
11. Szabolich Darab K. Salt Balance Salt Trans // 9th Int. Conf. of Soil Sci VI, Adelaide, Australia, 1955.
12. Venselow A.P. Equilibria of the Base Exchange Reaction on Bentonites, Permutites, Soil Collods and Zeolites // Soil Sci. 1932. V. 33. P. 95–113.

Николаенко Александр Николаевич, доктор техн. наук, профессор, вед. науч. сотрудник, al.nikolaenko@yandex.ru (ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костикова, Россия, г. Москва).

УДК 631.432.4

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-5-35-38

АНАЛИЗ ВОДНЫХ БАЛАНСОВ ЗОНЫ АЭРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ

В.В. ПЧЕЛКИН, Е.А. ПОПОВА

Ключевые слова: вода, влажность, водный баланс, капельное орошение, дерново-подзолистая почва, водопотребление, белокочанная капуста.

Keywords: water, soil moisture, water balance, drip irrigation, sod-podzolic soil, crop water consumption, white cabbage.

Аннотация. Цель исследования — выявление закономерности изменения составляющих водного баланса зоны аэрации почвы и их взаимосвязи с влажностью дерново-подзолистых почв в условиях возделывания белокочанной капусты в Центральном районе Нечерноземной зоны РФ, с ориентацией на достижение максимально возможных урожаев культур.

В качестве объектов анализа рассматриваются: влажность дерново-подзолистой почвы, ключевые элементы водного баланса (осадки, испарение, фильтрация, транспирация и др.), а также сама культура — белокочанная капуста — как индикатор агроэкологических условий.

Получена формула для расчета водопотребления капусты, учитывающая специфику агроклиматических условий Центрального района Нечерноземья. В ее структуру введены эмпирические коэффициенты. Определены оптимальные интервалы влажности для дерново-подзолистых почв, расположенных на повышенных элементах рельефа, что особенно важно для планирования режимов орошения в условиях нерав-