

Ближайшим резервом для питания растений является необменный калий, содержание которого в почве на фоне последствий извести было больше, чем на фоне без известкования. Значительное увеличение содержания этой формы калия в течение длительного действия известкования наблюдали не только в пахотном, но и в более глубоких слоях почвы, вплоть до 80 см (табл. 4). Причем последствие Алнашской извести действовало более успешно, чем ККС, и не только в пахотном слое, но и до 80 см. На фоне без минеральных удобрений ККС способствовал увеличению кислоторастворимого калия (по Пчелкину) в среднем на 11 мг/кг, а местная известняковая мука – на 17 мг/кг. Еще более интенсивно последствие местного мелиоранта обнаружено на фоне НРК, увеличение составило 20 мг/кг.

Кроме того, наблюдается вымывание необменного калия до 8% из элювиального горизонта в иллювиальный, где и происходило его накопление. В данном случае не было разницы использовались минеральные удобрения или нет.

Выводы. 1. Последствие извести на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве позволило повысить содержание водорастворимого калия на 27 %. Совместное действие минеральных удобрений на фоне известкования увеличили данный показатель до 37 %. Причем возрастание водорастворимого калия было по всем изучаемым слоям почвы. 2. Достоверное увеличение степени подвижности калия отмечено во всех изучаемых вариантах. В зависимости от варианта и года исследования его количество повышалось до 30 %, но наблюдалось это только в двух горизонтах – пахотном и подпахотном, в нижележащих слоях его было в 2 раза меньше. 3. Накопление содержания подвижного калия в дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве было только в пахотном горизонте. В нижележащих горизонтах его количество вдвое меньше. В пахотном горизонте от длительного действия извести содержание подвижного калия увеличилось до 7 %. Ежегодное использование минеральных удобрений в вариан-

тах с известкованием повысило количество подвижного калия до 22 % по отношению к контрольному варианту. 4. В вариантах с последствием извести на фоне минеральных удобрений повысилось содержание необменного калия (до 11 %) во всех изучаемых слоях почвы, особенно на делянках с внесенной известью (2004 г.) местного карьера.

Литература

1. Афанасьев, Р.А. Содержание подвижного калия в почвах при длительном применении удобрений / Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мёрзляя // Агрохимия. – 2013. – № 6. – С. 5 – 11.
2. Башков, А.С. Изучение влияния связи калийного состояния дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы с урожайностью сена однолетних трав при известковании и применении минеральных удобрений / Д.В. Белослудцев, А.Н. Исупов, А.С. Башков // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству: материалы междунар. науч.-практ. конф. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. – С. 14 – 17.
3. Безносков, А.И. Известкование почв Удмуртии: монография / А.И. Безносков. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2005. – 68 с.
4. Демин, В.А. Формы калийных соединений в дерново-подзолистой почве при длительном применении удобрений / В.А. Демин, А. Муса // Известия ТСХА. – 2002. – Вып. 4. – С. 41 – 50.
5. Лукин, С.М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений // Агрохимия. – 2012. – № 12. – С. 5 – 14.
6. Минеев, В.Г. Агрохимические и экологические функции калия / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.
7. Никитина, Л.В. Влияние длительного применения удобрений в зернопропашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. – 2012. – №12. – С. 15 – 23.
8. Носов, В.В. Значение калийных удобрений для сохранения экологического равновесия // Плодородие. – 2002. – № 2. – С. 28 – 30.
9. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.
10. Сычев, В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания доступного калия // Агрохимический вестник. – 2000. – № 5. – С. 30 – 34.
11. Якименко, В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах // Агрохимия. – 2007. – № 3. – С. 5 – 11.
12. Якименко, В.Н. Подвижность форм калия в почвах // Агрохимия. – 2005. – № 9. – С. 5 – 12.
13. De Nobili M., Vittori Antisari L., Sequi P. K-uptake from subsoil // proc. 22nd IPI Coll. Soligorsk, USSR, 1990. P. 133–144.

CHANGE OF POTASSIUM STATUS OF SOIL UNDER THE LONG-TERM APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS AND AFTEREFFECT OF LIMING

D.V. Belosludtsev, A.N. Isupov, A.S. Bashkov

FSBEI HE Izhevsk SAA, Studencheskaya ul. 11, 426069 Izhevsk, Russia, e-mail: dmitry.belosludtsev @yandex.ru

In a long-term experiment on sod-medium-podzolic medium-loam soil, it was found that the use of mineral fertilizers contributed to an increase in the content of water-soluble, exchangeable and non-exchangeable potassium in the soil and in the degree of its mobility, especially in topsoil.

Key words: potassium status, sod-medium-podzolic medium-loam soil, lime, mineral fertilizers.

УДК 631.421.32

ГУМУСООБРАЗОВАНИЕ В ПОЧВАХ АРИДНОЙ ЗОНЫ КАЗАХСТАНА (МЕТОДИКА РАСЧЁТА)

Ю.Г. Безбородов, д.т.н., РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

127550, г. Москва, ул. Тимирязевская 49, e-mail: ubezborodov@rgau-msha.ru

*Н.Н. Хожанов, к.с.-х.н, М.К. Масатбаев, Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати
г.Тараз, Республика Казахстан*

Рассмотрены вопросы повышения плодородия в системе земледелия с учетом эколого-мелиоративного состояния орошаемых регионов и методы оптимизации моделей модернизации почвенного плодородия. Основываясь на многолетних (1984-2016 г.) полевых исследованиях за период в регионе южного Приаралья, установлены структу-

ра формирования природной среды, уровень гумусообразования почвы (M_p). Показано, что максимальное число факторов, воздействующих на почвообразовательный процесс, сосредоточено на уровне ландшафтных провинций и географического местоположения.

Ключевые слова: почвообразовательный процесс, гумус, плодородие, система земледелия, растительность.

DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.11

Плодородие зависит не только от природных свойств почвы, но и от деятельности человека в процессе обработки земли для выращивания сельскохозяйственной продукции. Исходя из этого, в целях повышения плодородия почв в системе земледелия, с учетом эколого-мелиоративного состояния орошаемых регионов, необходимо разработать оптимальные модели его модернизации.

Методика оценки плодородия почв, разработанная И.И. Кармановым (1985), позволяет оценить состояние почв природных фитоценозов, пашни и др. По этой методике, плодородие почвы определяется с помощью экологической оценки в баллах на основании ее свойств, с учетом климатических условий, при которых формировалась почва и выражают в виде обобщенного показателя почвенно-экологического индекса (ПЭИ), который рассчитывают по формуле:

$$\text{ПЭИ} = 12,5(2 - V) \cdot \text{ПК}_Г \cdot \frac{17,2N}{Г} \cdot \frac{K_p H + 1,0}{2} \cdot \frac{K_{\text{сол}} + 1,0}{2} \cdot \frac{K_{\text{щ}} + 1,0}{2} \times \\ \times \frac{K_{\text{эм}} + 1,0}{2} \cdot \frac{K_{\text{сэ}} + 1,0}{2} \cdot \frac{\sum t > 10(KV - P)}{KK + 100} \cdot \frac{K}{P} \cdot \frac{K}{K} \quad (1)$$

где V – средняя плотность метрового слоя, г/см³; 2 – максимальная возможная плотность почвы, г/см³; Π – полезный объем почвы; K_r – коэффициент на содержание гумуса; N – содержание в почве азота, %; G – содержание гумуса, %; K_{pH} – коэффициент на кислотность; $K_{\text{сол}}$ – коэффициент на солонцеватость; $K_{\text{щ}}$ – коэффициент на щебенистость; $K_{\text{гм}}$ – коэффициент на гидроморфность; $K_{\text{сэ}}$ – коэффициент на степень эродированности почвы; KV – коэффициент увлажнения; P – поправка на коэффициент увлажнения; KK – коэффициент континентальности; K_p – коэффициент на содержание подвижного фосфора; K_k – коэффициент на содержание обменного калия; 12,5 – множитель, постоянный для всех типов почвы.

Применение этой методики сложно и в каждом конкретном случае необходимо проводить химический анализ почв.

Г. Йенни установил сложную математическую функциональную зависимость между гидротермическими условиями и содержанием азота в почвах [6].

В.Р. Волобуев при анализе влияния гидротермических условий на гумусонакопление почв в глобальных масштабах выявил, что при равенстве количества осадков и испарения, максимальное значение запасов гумуса характерно для почв с невысокими годовыми температурами. С увеличением количества осадков содержание гумуса может увеличиться только при повышении температурных показателей [2].

Цель исследований – оценить гумусообразование почвы, с учетом природно-климатических факторов, для совершенствования агротехнологий сельскохозяйственных культур в условиях аридной зоны Казахстана.

Рассмотрим основные агрохимические свойства почв административных областей с расположением по природным областям с севера на юг.

Светло-каштановые карбонатные почвы. Содержание гумуса в горизонте А – 2,9 – 2,5%, в горизонте В – 1,5-1,0%, общего азота – 0,28-0,15% (при С:N = 9-10). Емкость поглощения – 15-12 мг-экв/100 г почвы, рН 7,8-8,1. Содержание подвижных форм: гидролизующего азота – 35 мг/кг; P_2O_5 – 10 – 28 и K_2O – 346-465 мг/кг почвы.

Бурые почвы. Содержание гумуса, преимущественно фульватного состава, колеблется от 0,5% в легких почвах до 1,3% в тяжелых, общего азота составляет 0,10 – 0,03% (при С : N = 6,1). Емкость поглощения – 13-8 мг/100 г почвы, рН 7,5-8,0. Содержание подвижных форм: гидролизующего азота – 29-44 мг/кг, P_2O_5 – 13 и K_2O – 151 мг/кг почвы.

Серо-бурые почвы. Содержание гумуса – 1,2-0,2 %, общего азота – 0,08-0,04% (при С:N = 6-8; С гк : Сфк = 0,4), сумма поглощенных оснований 9-6 мг-экв/100 г почвы, рН 8,0-8,5. Содержание подвижных форм: азот гидролизующий – 40 мг/кг, P_2O_5 – 15 и K_2O – 156 мг/кг почвы.

Сероземы обыкновенные. Содержание гумуса 2,3-1,5% (при Сгк:Сфк = 1), общего азота – 0,15-0,10% (при С:N = 10,8-8,7). Сумма поглощенных оснований 10-16 мг-экв/100 г почвы, рН 7,5-8,4. Содержание подвижных форм: гидролизующего азота – 118 мг/кг, P_2O_5 – 8, K_2O – 689 мг/кг почвы.

Для исследования закономерностей изменения отношения $C_{гк}:C_{фк}$ в условиях увлажнения использовали индекс эффективной увлажненности почв – H_f по В.Р. Волобуеву [5]. Его рассчитывали по формуле

$$H_f = 43,2lgR - T, \quad (2)$$

где R – среднегодовое количество осадков, мм; T – среднегодовая температура, °С.

С помощью индекса эффективной увлажненности почв оценивают изменения условий увлажнения при различных соотношениях климатических показателей: осадков (R) и температуры (T).

Оценка количественных связей величины, по которой определяют тип гумуса ($C_{гк}:C_{фк}$) с индексом эффективной увлажненности (H_f), для почв Жамбылской области отсутствует.

Почвы разных природных зон, как и различных уровней окультуренности, различаются по количеству и качеству гумусовых веществ.

Продуктивность сельскохозяйственных угодий и мелиорируемых земель [5]:

$$P = SCL, \quad (3)$$

$$P = S \cdot ART \cdot GGT, \quad (4)$$

где P – потенциальная продуктивность биомассы растительности в данных почвенно-климатических условиях, т/га воздушно-сухого вещества; S – индекс плодородия почвы; CL – коэффициент благоприятности климата; ART – показатель соответствия климатических условий данной культуре; GGT – коэффициент, зависящий от возделываемой культуры.

При повышении продукционного потенциала очень важно знать динамику накопления или истощения запасов гумуса в почве. Изменение запасов гумуса можно описать дифференциальным уравнением [5]

$$\frac{dG}{dt} = A - BG, \quad (5)$$

$$G = \frac{A}{B} + (G_0 - \frac{A}{B})e^{-Bt} \quad (6)$$

где G_0 – текущие запасы гумуса, т/га; A – образование нового гумуса за счет гумификации растительных остатков ($G_{\text{раст}}$) или органических удобрений ($G_{\text{орг}}$), в том числе сидеритов, а также потери гумуса при нисходящих токах влаги ($G_{\text{физ}}$), т/га; B – коэффициент, учитывающий потери гумуса, год⁻¹; t – время, год.

Образование нового гумуса оцениваются по формуле: $A = G_{\text{раст}} + G_{\text{орг}} + G_{\text{физ}}$. (7)

Поступление гумуса при гумификации органических веществ рассчитываются по формуле [1]:

$$G_{\text{раст}} = PK_K K_r \quad (8)$$

где P – урожайность сельскохозяйственных культур, т/га; K_K – коэффициент выхода корневых остатков (сухое вещество); K_r – коэффициент гумификации сухого вещества.

Значение коэффициентов K_K и K_r приведены в таблице 1.

1. Значение коэффициентов K_K и K_r

Культура	K_K – Коэффициент выхода органического вещества корневых остатков (сухое вещество)	K_r – Коэффициент гумификации сухого вещества
Многолетние травы 1-го г.п. на сено	0,6	0,2
Многолетние травы 1-го г.п. на зеленый корм	0,15	0,2
Многолетние травы 2- и 3-го г.п. на сено	1,2	0,2
Многолетние травы 2- и 3-го г.п. на зеленый корм	0,3	0,2
Однолетние травы на сено	0,4	0,2
Однолетние травы на зеленый корм	0,4	0,2
Зерновые и зернобобовые	0,8	0,2
Картофель (корнеплоды)	0,1	0,1
Кукуруза на силос	0,07	0,2

Оценка количества гумуса, приходящего в составе органических удобрений, осуществляется с помощью изогумусового коэффициента, определяющего количество стабильного гумуса, образованного из 1 кг (в пересчете на сухое вещество) внесенного в почву органического вещества или органического удобрения [8]:

$$G_{\text{орг}} = K_{\text{из}} D, \quad (9)$$

где $K_{\text{из}}$ – изогумусовый коэффициент; D – доза органического удобрения, т/га сухого вещества.

Индекс плодородия почвы по Д.М. Гвишиани [4] выражается формулой:

$$S = \frac{6,4 + (G_r + 0,2G_{\text{ф}})}{600} + 8,5 \sqrt{N\% P\% K\%} \cdot 5,1e^{\left(\frac{H_r-1}{4}\right)}, \quad (10)$$

где G_r – гуматный гумус, т/га; $G_{\text{ф}}$ – фульватный гумус, т/га; $N\% P\% K\%$ – соответственно доли допустимых или полудопустимых доз азота, фосфора и калия по отношению к максимально возможному их содержа-

нию; H_r – гидротермическая кислотность, мг-экв/100 г почвы.

Коэффициент благоприятности климата по Д.М. Гвишиани [3] выражается следующей формулой:

$$CL = \sqrt{\left[\arctg \left(\frac{T - 6^0}{4} \right) + 1,57 \right]} \cdot \sqrt{\left[\arctg \left(\frac{H_f - 112}{4} \right) + 1,57 \right]}, \quad (11)$$

где T – среднегодовая температура воздуха, °С; H_f – показатель эффективности увлажнения, определяемый по формуле В.Р. Волобуева [2].

$$HF = 43,2lqO_c - T. \quad (12)$$

Исходя из этого продуктивность сельскохозяйственных угодий на мелиорируемых землях по Кирейчевой Л.В. оценивается по формуле 4 [7].

Продуктивность ландшафтов и гумусообразования в естественных условиях Казахстана определяют по формуле

$$FN = SCL, \quad (13)$$

где FN – потенциальная продуктивность биомассы растительности естественных ландшафтов в данных почвенно-климатических условиях, т/га воздушно-сухого вещества.

Из анализа приведенных материалов ясно, что под влиянием растительности меняются численность и качественный состав микроорганизмов, а, следовательно, и интенсивность процессов, в которых они участвуют. Такие изменения в почвах являются результатом взаимодействия растений и микроорганизмов, которые определяют степень развития и питание сельскохозяйственных культур. В связи с этим, назрела необходимость изучения микрофлоры ризосферы для разработки приемов, благоприятно влияющих на ее развитие и состав, на улучшение питания растений и получение высоких урожаев с учетом энергетических ресурсов конкретной местности.

Основываясь на полевых исследованиях 1984-2016 гг. в регионе южного Приаралья, выявлена структура формирования плодородия агроценоза и уровень гумусообразования почвы (M_p), которые показывают, что максимальное число факторов, воздействующих на почвообразовательный процесс, сосредоточено на уровне ландшафтной провинции и географического местоположения:

$$M_p = (0,42 R_n + 0,15\beta + 0,09S_n + 0,09T_b + 0,08W_b + 0,04V_b + 0,04O_c + 0,03 M_{\text{ор}} + 0,03h_{\text{гп}}) \cdot 0,1\mu, \quad (14)$$

где R_n – радиационный баланс учитывающий отметки местности; β – доля минерализации грунтовых вод; S_n – показатель засоления почвы; T_b – температура воздуха, W_b – влажность воздуха, V_b – скорость ветра, O_c – количество осадков, $M_{\text{ор}}$ – доля минерализации оросительной воды, $h_{\text{гп}}$ – уровень залегания грунтовых вод, μ – коэффициент, учитывающий использование агроприемов и системы земледелия [10].

Из данных таблицы 2 следует, что продуктивная биомасса растительности в естественных ландшафтах способствует образованию гумуса и характеризуется коэффициентом (G_p) в пределах 0,007-0,017%. Однако, в Туркестанской области заниженные показатели гумусообразования за счет биомассы растительности вызваны, прежде всего, малым количеством осадков за вегетационный период и повышенной среднесуточной температурой воздуха.

2. Продуктивность биомассы

Метеостанция	Среднегодовая температура воздуха, °C	Показатель эффективности увлажнения, H_f	Коэффициент благоприятности климата, CL	Абсолютная высота местности, H_m	Показатель гумусообразования растительностью, $G_p = CL/H_f$
Туркестанская область					
Сузак	10,2	88,3	1,50	316	0,016
Туркестан	12,6	86,9	0,96	206	0,011
Тюлькубас	11,7	121,5	1,54	789	0,012
Арыс	12,0	86,9	0,92	237	0,010
Шымкент	11,8	84,0	0,94	543	0,011
Шардара	12,4	88,9	0,94	238	0,010
Жамбылская область					
Уланбель	8,70	92,8	1,61	266	0,017
Мойынкум	8,40	97,4	1,61	350	0,016
Уюк	8,40	97,4	1,61	373	0,016
Толеби	9,80	99,5	1,61	455	0,016
Отар	7,60	100,4	1,59	742	0,016
Курдай	9,20	120,6	1,59	1141	0,013
Кулан	9,10	101,5	1,59	682	0,015
Тараз	9,10	101,1	1,59	642	0,015
Мерке	8,60	105,4	1,58	703	0,015
Жуалы	8,70	105,8	1,59	952	0,015
Мангистауская область					
Бенеу		84,0	0,65	74	0,007
Шевченко		83,3	0,59	-25	0,007
Тушибек		85,0	0,63	240	0,007
Западно-Казахстанская область					
Уральск		106,2	1,20	34	0,011
Чингирлау		105,0	1,18	104	0,011
Жаныбек		104,5	1,13	28	0,010
Урда		100,4	1,22	-1	0,012
Чапаево		104,9	1,22	15	0,011
Каратюбе		101,0	1,21	44	0,012

Выводы. 1. Выполненная аналитическая работа позволяет определить взаимосвязь между природными показателями и уровнем гумусообразования почвы (M_p) для рационального использования агротехнических приемов и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур.

2. В предложенной методике расчета гумусообразования учитываются естественные природные ресурсы региона, отражающие влияние параметров климата.

3. Исследованиями установлено, что в аридной зоне Средней Азии и Казахстана, в частности в районах Южного Приаралья, природно-климатические показатели обеспечивают в естественных условиях повышение содержание гумуса с 0,852 до 2,977%.

Литература

1. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. – 384 с.
2. Волобуев В.Р. Почвы и климат. – Баку: Изд-во АН АЗССР, 1953. – 259 с.
3. Волобуев В.Р. Экология почв – Баку: Изд-во АН АЗССР, 1963. – 549 с.
4. Пегов С.А., Хомяков П.М. Моделирование развития экологических систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 222 с.
5. Голованов А.И. и др. Природообустройство /Под ред. А.И. Голованова. – М.: КолосС, 2008. – 545 с.
6. Васильев В.А. Справочник по органическим удобрениям / В. А. Васильев, Н. В. Филиппова. – 2-е изд. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
7. Лозе Ж., Матье К. Толковый словарь по почвоведению. – М.: Мир, 1998. – 398 с.
8. Гашишани Д.М. Природные ресурсы и окружающая среда. – М.: МЦНТИ. Ком. по систем. анализу, 1981. – № 7. – Вып. 19. – 136 с.
9. Кирейчева Л. В. и др. Технологии управления продуктивностью мелиорируемых агроландшафтов различных регионов Российской Федерации /Л. В. Кирейчева, И. В. Белова, Н. П. Карпенко, С. Б. Адыев, Э. Б. Дедова, Г. Н. Кониева. – М.: ВНИИГиМ, 2008. – 81 с.
10. Хожанов Н.Н. и др. Энергетическая концепция развития системы земледелия/ Н.Н. Хожанов, М.К. Масатбаев, К.Б. Абдешев, С.З. Елобаев, Х.И. Турсунбаев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2018. – №55 (Ч.1). – С. 20-26.

HUMIFICATION IN THE ARID ZONE OF KAZAKHSTAN (METHOD OF ASSESSMENT)

Yu.G. Bezborodov¹, N.N. Khozhanov², M.K. Masatbayev²

¹*RSAU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya ul 49, 127550 Moscow, Russia, e-mail: ubezborodov@rgau-msha.ru;*
²*M.Kh Dulaty Taraz Regional University, Suleymenova ul. 7, 080012 Taraz, Kazakhstan*

The article discusses the issues of increasing fertility in the agricultural system, taking into account the ecological and meliorative state of irrigated regions, and methods for optimizing models of soil productivity modernization. Based on long-term field studies for the period of 1984-2016 in the southern Aral sea region, the authors identified the structure of the formation of the natural environment, the level of soil humus formation (M_p), which show that the maximum number of factors affecting the soil formation process are concentrated at the level of landscape provinces and geographical location.

Key words: pedogenesis, humus, productivity, farming system, plants.