

## ОБОСНОВАНИЕ НАРАЩИВАНИЯ ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА ДРОБЛЕННОГО МЕЛА В РЕГИОНЕ КМА

Показывается необходимость проведения раскисления почв, преимущество дробленого мела как мелиоранта. Приводится методика наращивания объемов дробленого мела, попутно добываемого в регионе КМА. Рассмотрены рациональные схемы перевозки мелиоранта от поставщиков к потребителям. Проведен расчет необходимого объема дробленого мела для раскисления почв в бассейне.

Главной общегосударственной задачей является полное обеспечение страны продовольствием. Для реализации поставленной цели предстоит поднять эффективность использования производственного потенциала в агропромышленном комплексе, сконцентрировать силы и средства на важнейших участках, обеспечивающих их наибольшую отдачу. Речь идет в первую очередь о сохранении и повышении плодородия земли. Решение проблемы зависит от всех отраслей народного хозяйства и особенно тех, которые обеспечивают существенное наращивание объемов выпуска и поставки сельскому хозяйству мелиорантов для раскисления почв, так как современное земледелие даже на лучших черноземах невозможно без известкования. В нашей стране из-за кислых почв потери урожая составляют порядка 10-12 млн. т зерна. Если учесть, что эффективность применения минеральных удобрений на кислых почвах снижается примерно на 30%, то потери урожая значительно больше.

Одним из видов высококачественного сырья для производства известкостойких материалов является мел. При ведении вскрышных работ на железорудных карьерах извлекается, складировается в отвалы и не находит применения большое количество этого ценнейшего сырья. Переработка его позволяет одновременно решать задачи покрытия дефицита в мелиорантах, комплексного использования минерально-сырьевых ресурсов и рационального природопользования. Применение мела для известкования почв позволяет увеличить урожайность от 6% до 42%.

Результаты исследований и опыт передовых хозяйств показывают, что применение известкостойких материалов на фоне высокой культуры земледелия является экономически выгодным приемом. Затраты на проведение известкования окупаются уже на второй год. Прибавка урожая основной продукции составила в среднем за 3 года по 3,5-4,7 ц/га, причем на черноземах Белгородской области наилучший результат получен от мелиорации мелом. Значительно снизилась кислотность почв, так, на выщелочных черноземах pH с 5,4 поднялось до 6,8, а гидро-

литическая кислотность с 3,5 мг/экв на 100 г почвы уменьшилась до 1,2.

Площадь почв с избыточной кислотностью в России составляет свыше 52 млн. га, в том числе в Нечерноземной зоне – более 20 млн. га, в Центрально-Черноземном районе – свыше 5 млн. га, в Белгородской области насчитывается около 500 тыс. га кислых почв. За последние 30-40 лет черноземы потеряли 1/3 гумуса, их плодородный слой уменьшился на 10-15 см. В динамике процесс подкисления почв возрастает вследствие применения минеральных удобрений, что обуславливает необходимость использования значительных объемов мелиорантов для восстановления почв. По прогнозу академика И.С. Шатилова, при нынешних темпах подкисления и известкования все почвы ЦЧР к 2017 году станут кислыми. Производство известковой муки в бывшем Советском Союзе в 1989 г. достигало 35 млн. т. За последнее десятилетие производство ее снизилось до нескольких миллионов тонн в год, поэтому сроки полного закисления почв могут значительно сократиться.

В Белгородской области в связи с развитием горнодобывающей промышленности, отчуждением земель для несельскохозяйственных целей будет сокращаться площадь обрабатываемых земель в расчете на душу населения.

Главный путь дальнейшего увеличения производства сельскохозяйственной продукции в области заключается в сохранении каждого гектара сельскохозяйственных угодий. Одним из способов повышения плодородия и урожайности возделываемых культур является внесение удобрений и известкование почв.

В качестве сырья при производстве материалов для известкования кислых почв применяются чистые и плотные доломитизированные известняки, доломиты, рыхлые известняковые и меловые породы, а также отходы некоторых производств, содержащие карбонат кальция в достаточно больших количествах.

В настоящее время наиболее разработанными и апробированными технологическими решениями получения мелиоранта из мела являются:

– производство сыромолотой меловой муки естественной влажности;

– производство сушеной пылящей (влажность до 2%) и слабопылящей известняковой муки (влажность 6-12%);

– производство гранулированной меловой муки по технологии Минского НИИСМ;

– технология получения меловых брикетов 20-0 мм;

– производство мелкогранулированных связноподсушенных меловых окатышей (1-0 мм);

– технология производства меловой суспензии;

– производство дробленого мела крупностью 0-20 мм.

Анализ технологических схем производства мелиоранта показывает, что эффективным является производство дробленого мела.

Технологической особенностью дробленого мела крупностью 0-20 мм является неслеживаемость материала при влажности до 20%, низкая себестоимость продукции, высокий уровень рентабельности, низкая капиталоемкость и малый срок окупаемости капитальных вложений (0,34 года).

Природный мел практически не обладает морозостойкостью, после нескольких циклов замораживания и размораживания он распадается на отдельные кусочки размером 1-3 мм. Это явление является положительным фактором при использовании мела в качестве мелиоранта для раскисления почвы, когда не обязательно его измельчать до крупности – 0,25 мм (известковая мука), а можно вносить в почву дробленый мел до – 10 мм. При замораживании и размораживании с ежегодным перепахиванием почвы кусочки мела разрушаются и его действия по нейтрализации почвы сохраняются длительное время.

Анализ практики известкования кислых почв в Белгородской области показывает, что в качестве мелиорантов преимущественно используется дефека́т (отходы сахарных заводов), качество которого без специальной подготовки не соответствует техническим условиям по содержанию  $\text{CaCO}_3$  (должно быть не менее 40%, тогда как фактически колеблется от 22,6 до 37%). Кроме того, дефека́т в своем составе содержит различные примеси, значительный процент влаги и грубые частицы, которые очень медленно взаимодействуют с почвой. Внесение дефека́та на один гектар составляет от 11 до 20 т.

Альтернативой в качестве сырья для производства мелиоранта является мел, попутно добываемый при добыче железорудного сырья на ГОКах КМА. При этом затраты на добычу и переработку

сырья ниже, чем на специализированных предприятиях, уменьшается отвлечение земель под отвалы, куда ранее направлялись эти породы, сокращаются транспортные перевозки. Кроме того, норма расхода мела для раскисления почв ниже, чем дефека́та, и составляет от 5,6 до 9,3 тонны на 1 га.

К наиболее крупным разведанным месторождениям мела относятся Лебединское и Стойленское, где мел добывается как вскрышная порода. На эти месторождения приходится 75% разведанных запасов мела Белгородской области, однако при добыче руды на этих месторождениях ежегодно добывается и вывозится в отвалы свыше 15 млн. т мела, где он безвозвратно теряется и только незначительная его часть (около 5,0 млн. т) используется для производства цемента и молотого мела.

Общие балансовые запасы мела в России оцениваются в 3,3 млрд. т при неограниченных прогнозных запасах. Наиболее крупные месторождения качественного мела находятся в Белгородской области. Разведано 29 месторождений с утвержденными запасами 1,0 млрд. т. Прогнозные запасы мела Белгородчины практически не ограничены.

Несмотря на имеющиеся положительные результаты по раскислению почв, острота проблемы не снижается. Низкий уровень использования мела для производства мелиорантов объясняется многими причинами: отсутствием эффективной технологии их производства; не решены экономико-организационные вопросы в производстве и потреблении известьесодержащих материалов; нет экономической оценки различных видов мелиорантов по объективному критерию (конечному результату); недостаточной методической базой для обоснования наращивания их мощностей, не решены проблемы инвестирования.

В настоящее время потребность в известковании определяют агрохимическими методами. Для этого используют показатель рН солевой вытяжки (табл. 1).

Правильное установление дозы известковых материалов имеет решающее значение для снижения почвенной кислотности и улучшения условий жизнеобитания для микроорганизмов и растений. Рекомендуемая доза известки устанавливается агрохимслужбой с учетом активной и потенциальной кислотности почвы, что определяется анализом почвы.

Потребность в известковых материалах определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{\Delta \text{pH} \cdot \text{H} \cdot \text{S}}{0,1}, \quad (1)$$

где  $\Pi$  – потребность в известковых удобрениях, т;

$\Delta pH$  – разница между  $pH_{\text{онт}}$  и  $pH_{\text{нск}}$ , ед.;  
 $N$  – норма расхода  $CaCO_3$  для сдвига  $pH$  на 0,1, т/га;  
 0,1 – сдвиг  $pH$ , ед.

Таблица 1. Потребность в известковании кислых почв

Показатель pH	Потребность в известковании
меньше 4,5	сильная
4,6-5,0	средняя
5,1-5,5	слабая
больше 5,5	отсутствует

Для обоснования производства мелиорантов необходима экономическая оценка эффективности их применения, которая должна базироваться на сопоставлении получаемого эффекта при внесении одной тонны мелиоранта и затрат на его получение. Экономическая сущность такого подхода заключается в том, что предельно-допустимыми затратами на получение единицы мелиоранта из мела является сумма полученной дополнительной прибыли от прибавки урожая.

Объем производства мелиоранта следует устанавливать исходя из эффективности его использования и обеспечения получения потребителями дополнительного экономического эффекта за счет повышения плодородия почв. При этом должно соблюдаться следующее условие:

$$\Xi \geq Z, \tag{2}$$

где  $Z$  – затраты, связанные с производством и использованием мелиоранта, руб.;

$\Xi$  – суммарный эффект, получаемый потребителем мелиоранта за счёт повышения продуктивности почв.

В общем виде это выражается зависимостью:

$$\sum_{i=1}^n Y_i S_i C_i \geq \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n Z_{ki} V_i, \tag{3}$$

где  $S_i$  –  $i$ -ая площадь мелиорируемых почв, га;

$Y_i$  – прибавка урожая от 1 га на  $i$ -ой площади мелиорируемых почв, ц/га;

$C_i$  – цена 1 ц урожая на  $i$ -ой площади, руб.;

$V_i$  – используемый объём мелиоранта на  $i$ -ой площади, т;

$n$  – количество мелиорируемых площадей;

$Z_{ki}$  – удельные затраты на производство и внесение  $k$ -ого мелиоранта, применяемого на  $i$ -ой площади, руб/т;

$m$  – количество видов используемых мелиорантов.

Оценка эффективности использования мела на основе такого подхода позволяет экономически обосновывать допустимые затраты на производство единицы мелиоранта, проводить сравнительную оценку различных технологий его полу-

чения, выявлять сравнительную эффективность использования отдельных видов мелиорантов на разных почвах.

Предлагаемый экономический критерий – прибыль за счёт прироста продукции от внесения мелиорантов для раскисления почв – требует решения многих вопросов по обоснованию натуральной и стоимостной оценки, обеспечения сопоставимости конечных результатов при использовании различных мелиорантов.

На прирост урожая и его оценку при внесении мелиоранта влияет множество факторов и в том числе:

- тип почвы;
- степень кислотности;
- вид мелиоранта (включая комплексные);
- сельскохозяйственная культура;
- климатические условия;
- применяемые удобрения;
- себестоимость выполнения работ;
- ценообразование.

Одним из объёмных и сложных вопросов является определение достоверных затрат на внесение мелиоранта в почву, исходя из требуемых объёмов при различной степени кислотности, дальнейшей транспортировки мелиоранта, количества операций от получения сырья до внесения и т. д.

В связи с тем, что затраты на внесение мелиоранта в почву зависят от вносимого объёма на гектар, применяемой техники и технологии, от площади внесения, для расчётов применяются затраты на внесение 1 т мелиоранта из проектов химизации. При различной степени кислотности они составляют для дроблёного мела от 37,95 руб/га до 70,65 руб/га.

В практике известкования почв используются разные мелиоранты с различным содержанием  $CaCO_3$ . Так, например, в дефекате его содержится от 22,6 до 37,0%, в дроблёном меле – 88%.

В связи с тем, что эффективный выбор схемы распределения мелиорантов зависит от сложного взаимодействия материально-технических и социально-экономических условий производства как у поставщиков, так и потребителей, задача заключается в обосновании рационального распределения однородного продукта (например, извести).

Пересчёт количества известьсодержащего материала на содержание  $CaCO_3$  производится по формуле:

$$a_i = \frac{10^6 D}{A_i (100 - W_i) (100 - \epsilon_i)}, \tag{4}$$

где  $a_i$  – доза известкового материала в физической массе поставляемом поставщиком  $j$  потребителю, т/га;

$D$  – доза чистого и сухого  $CaCO_3$ ;

$A_i$  – доза чистого и сухого  $CaCO_3$  в мелиоранте, поставляемом  $i$  поставщиком, %;

$W_i$  – содержание влаги в мелиоранте, поставляемом  $i$  поставщиком, %;

$\epsilon_i$  – количество недействительных частиц в мелиоранте, поставляемом  $i$  поставщиком, %.

Для обоснования рациональной мощности предприятий по производству дроблёного мела математически постановку задачи можно сформулировать следующим образом. Пусть имеется  $n$  поставщиков мелиоранта, из которых некоторые имеют ограниченные запасы этого материала. Обозначим их через  $b_1, b_2, \dots, b_k$ . Под такими поставщиками можно понимать сахарные заводы, поставляющие дефекаг. Остальные  $n-k$  поставщиков имеют неограниченные запасы мелиоранта. Такое допущение справедливо в случае решения вопроса об определении рациональной мощности проектируемых предприятий при наличии, конечно, достаточного сырья. При действующих  $n$  предприятиях (поставщиках) объёмы производства мелиорантов у всех ограничены (конечны). Количество площадей, на которых необходимо провести известкование, обозначим через  $m$ , а сами площади – через  $S_1, S_2, \dots, S_m$ .

На единицу площади  $S_j$  требуется внести количество  $CaCO_3$ , равное  $a_j$ , при этом затраты на известкование не должны превышать среднегодовой стоимости прибавки урожая  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ). Требуется составить такую схему перевозки мелиорантов от поставщиков к потребителям, чтобы суммарные затраты на известкование были наименьшие, т. е. целевая функция имеет вид:

$$Z = \sum_{i,j} C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $C_{ij}$  – затраты на транспортирование, внесение 1 т мелиоранта, включая и его цену, руб/т;

$X_{ij}$  – объём перевозок мелиоранта  $j$ -ому потребителю от  $i$ -ого поставщика, т;

$$C_{ij} = \Pi_i + q(l_{ij}) + B_i, \quad (6)$$

где  $\Pi$  – цена 1 т мелиоранта, поставляемого  $i$ -ым поставщиком, с учётом его погрузки и разгрузки, руб/т;

$l_{ij}$  – расстояние транспортирования мелиоранта от  $i$ -ого поставщика  $j$ -ому потребителю, км;

$q(l_{ij})$  – затраты на транспортирование 1 т мелиоранта от  $i$ -ого поставщика  $j$ -ому потребителю на расстояние  $l_{ij}$  км, руб/т;

$B_i$  – затраты на внесение в почву 1 т мелиоранта, поставляемого  $i$ -ым поставщиком, руб/т.

С учётом выражений (4) и (6) целевая функция  $Z$  примет вид:

$$Z = \sum_{ij} (\Pi_i + q(l_{ij}) + B_i) S_j \frac{10^6 D}{A_i (100 - W_i)(100 - \epsilon_i)}, \quad (7)$$

Задача сводится к нахождению  $nm$  неотрицательных чисел  $X_{ij}$ , минимизирующих целевую функцию (7) и удовлетворяющих системе ограничений (8), (9), (10) и (11).

На практике удовлетворение потребности  $j$ -ого потребителя в мелиоранте обеспечивается, как правило, одним  $i$ -ым поставщиком. В булевых переменных этот факт означает, что  $X_{ij} = 1$ , если  $i$ -ый поставщик закреплён за  $j$ -ой площадью, и  $X_{ij} = 0$  в противном случае.

Поскольку за каждым потребителем закрепляется один поставщик, то для всех  $j$ :

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad (8)$$

Вторая система ограничений учитывает имеющиеся запасы мелиорантов у поставщиков:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1m} &\leq b_1 \\ X_{21} + X_{22} + \dots + X_{2m} &\leq b_2 \\ \dots &\dots \\ X_{k1} + X_{k2} + \dots + X_{km} &\leq b_k \end{aligned} \quad (9)$$

Третье ограничение отражает поставку потребителям мелиорантов в необходимом количестве:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{21} + \dots + X_{n1} &= a_1 S_1 \\ X_{12} + X_{22} + \dots + X_{n2} &= a_2 S_2 \\ \dots &\dots \\ X_{1m} + X_{2m} + \dots + X_{nm} &= a_m S_m \end{aligned} \quad (10)$$

Четвёртое ограничение учитывает затраты на известкование с 1 га кислых почв:

$$\begin{aligned} C_{11} X_{11} + C_{21} X_{21} + \dots + C_{n1} X_{n1} &\leq C_1 S_1 \\ C_{12} X_{12} + C_{22} X_{22} + \dots + C_{n2} X_{n2} &\leq C_2 S_2 \\ \dots &\dots \\ C_{1m} X_{1m} + C_{2m} X_{2m} + \dots + C_{nm} X_{nm} &\leq C_m S_m \end{aligned} \quad (11)$$

Кроме этих ограничений должны быть выполнены условия неотрицательности переменных:

$$X_{ij} \geq 0 \quad (12)$$

при  $i = 1, 2, \dots, n$  и  $j = 1, 2, \dots, m$ .

Для решения задачи может быть использован, например, симплекс-метод, известный как первый алгоритм метода последовательного улучшения плана, или специальные методы, например, метод случайного поиска.

Практически решение задачи выполнялось следующим образом. Вычислялась матрица  $Z_{ij}$ . В ней находилось минимальное значение и вычислялся соответствующий объём  $V_{ij}$ , обеспечивающий удовлетворение  $j$  потребителя за счёт поставки мелиоранта от  $i$  поставщика. Если это был де-

дефекта, то этот объём вычитался из всего объёма дефеката завода (уменьшались запасы). Если это было меловое предприятие, то получим объём, необходимый для поставки мелиоранта от него. Теперь потребителей стало  $j - 1$ . Матрица снова пересчитывалась, находилось новое минимальное значение в ней  $Z_{ij-1}$ , соответствующий объём мелиоранта и т. д. Оптимизация проводилась по четырём типам почв: сильнокислые, среднекислые, слабые и близкие к нейтральным.

При среднегодовой стоимости прибавки урожая 750 руб/га транспортирование мела экономически оправдано на расстояние до 85 км, а дефеката в пределах 32-45 км в зависимости от его качества.

Проведенные расчёты показали, что для известкования почв в радиусе 85 км от завода, расположенного в промышленной зоне Старооскольского района, для известкования почв Белгородской и Курской областей требуется 5270 тыс. т мела, а с учётом пятилетнего цикла известкования необходимый объём мела составляет 1054 тыс. т (табл.2).

Таблица 2. Необходимые объёмы мелиоранта.

Степень кислотности	Необходимый объём мелиоранта в рассматриваемых условиях, тыс. т.		
	Районы Белгородской области	Районы Курской области	Итого
Сильная	1,209	0,965	2,174
Средняя	169,803	148,486	318,289
Слабая	1043,382	1598,550	2641,932
Близкая к нейтральной	1696,680	612,601	2309,481
<b>Итого:</b>	<b>2911,274</b>	<b>2360,602</b>	<b>5271,876</b>

При сравнении экономической эффективности применения различных мелиорантов для дальнейшего использования в обосновании наращивания объёмов их производства важным является

определение рациональных границ транспортирования известьсодержащих материалов. Для решения последней задачи анализировались данные проектов известкования кислых почв АО Губкинского района с использованием дроблёного мела карьера ЛГОКа, при этом устанавливалась зависимость общих затрат на известкование от расстояния транспортирования мелиоранта.

Результаты расчётов показывают, что общие затраты на известкование дефекатом и мелом становятся одинаковыми при транспортировании мелиоранта на расстояние около 10 км. При расстояниях свыше 10 км общие затраты при использовании мела значительно ниже по сравнению с дефекатом, особенно это проявляется при больших расстояниях. Эффект получается за счёт более высокого содержания в меле  $CaCO_3$  и, как следствие этого, снижения транспортных расходов на внесение мелиоранта в почву. Это указывает на целесообразность и расширение практики применения мела для раскисления почв. При среднегодовой стоимости прибавки урожая 750 руб/га транспортирование мела экономически оправдано на расстояние до 85 км.

Разработанная методика определения рациональных схем перевозки мелиоранта от поставщиков к потребителям позволяет сопоставить получаемый эффект при внесении одной тонны мелиоранта и затрат на его получение, обосновывать программу наращивания мощностей по выпуску мелиорантов и в том числе на базе комплексного использования попутно добываемого мела в регионе КМА. Данная методика может быть использована при перспективном и ежегодном планировании при известковании почв.