

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ПОЧВОГРУНТОВ И ПЕСКОВ АРАЛА И СУРХАНДАРЬИ

Кулдашева Шахноза Абдулазизовна

*д-р хим. наук, вед. научный сотрудник института общей и неорганической химии АН РУз,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Адизова Наргиза Замировна

*ассистент кафедры "Естественные науки" Бухарского инженерно-технологического института,
Республика Узбекистан, г. Бухара*

OPTIMIZATION OF PROCESSES OF CHEMICAL FIXING OF MOBILE SOILS AND SANDS OF ARAL AND SURKHANDARYA

Shakhnoza Kuldasheva

*doctor of Chemical sciences, Leading Researcher of the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Uzbekistan, Tashkent*

Nargiza Adizova

*assistent of the Department " natural science" of the Bukhara Engineering and Technology Institute,
Uzbekistan, Bukhoro*

АННОТАЦИЯ

С использованием многофакторного планирования эксперимента обосновывается выбор оптимальных технологических режимов закрепления подвижных почвогрунтов и песков Арала и Сурхандарьи. На основе лабораторных и опытно-полевых исследований для оценки эффективности закрепления почвогрунтов, которая выражается в изменении механической прочности объекта исследования, были выделены наиболее важные переменные факторы, такие как концентрация гидросиликата кальция, древесных опилок, поташа в обрабатываемых материалах.

Разработаны математические модели, что позволяет проводить количественную оценку эффективности воздействия на механическую прочность почвогрунтов и оптимизировать расход связующего материала.

ABSTRACT

With the use of multifactor experiment planning, the choice of optimal technological regimes for fixing moving soil and sands of the Aral Sea and Surkhandarya is justified. On the basis of laboratory and field trials, the most important variable factors, such as the concentration of calcium hydrosilicate, wood sawdust, and potash in processing materials, were identified to assess the effectiveness of soil consolidation, which is expressed in a change in the mechanical strength of the research object.

Mathematical models have been developed, which makes it possible to quantify the effectiveness of impact on the mechanical strength of soil and optimize the consumption of binder material.

Ключевые слова: закрепление, математическое моделирование, оптимизация, прочность, влияние переменных факторов, интервалы варьирования.

Keywords: fixing, mathematical modeling, optimization, strength, influence of variable factors, variation intervals.

Введение. Высыхание Аральского моря является проблемой глобального масштаба, экологические, климатические и социальные последствия которой трудно переоценить. Эти проблемы, особенно для ряда Центральноазиатских государств, обостряются в связи угрозой дальнейшего засоления почвы, загрязнения атмосферы пылью, содержащей соли тяжелых металлов, пестициды и другие поллютанты.

Частичное решение этой проблемы экологами многих стран видится в разработке технологий закрепления подвижных почвогрунтов и песков.

В настоящее время имеется ряд технологических и инженерно-экологических методов осуществления этих мероприятий, в частности использование малотоксичных химических отходов предприятий, древесных опилок, жидкого стекла и пр. Однако предвидеть ответные реакции экосистемы на ее воздействие конкретными факторами возможно лишь через сложный анализ

существующих в ней количественных взаимоотношений и закономерностей, которые можно описать математическим моделированием.

В экологии широкое распространение получил метод математического моделирования как средство изучения и прогнозирования природных процессов. Суть метода заключается в том, что с помощью математических символов строится абстрактное упрощенное подобие изучаемой системы. Затем, меняя значение отдельных параметров, исследуют, как поведет себя данная искусственная система, т. е. как изменится конечный результат [6, с. 327.].

Цель работы. Целью настоящего исследования является разработка математических моделей и оптимизация процессов химического закрепления подвижных почвогрунтов и песков Арала и Сурхандарьи.

Результаты и обсуждение

Оптимизация преследует достижение наилучших или определение наиболее благоприятных условий проведения данного процесса. Известно, что при оптимизации химико-технологических систем (ХТС) качество функционирования систем определяют с помощью критериев или показателей эффективности, под которыми понимают числовые характеристики системы, оценивающие степень приспособления системы к выполнению поставленных перед ней задач [6, с. 327].

Для этого необходимо выделить входные и выходные переменные процессы закрепления подвижных почвогрунтов (ППГ) и песков (ПП) [6, с. 327; 2, с. 29-30; 3, с.119-122; 4, с. 119-122; 5, с. 117-120.].

На основе лабораторных и опытно-полевых исследований с учетом мнений большинства специалистов для оценки эффективности закрепления почвогрунтов нами выбраны: для ППГ Арала следующие переменные X_1 -концентрация ГСК (гидросиликат кальция), %; X_2 -расход ДО (древесные опилки), кг/м² и X_3 -расход золы, кг/м², а в качестве критерия оптимизации Y_1 -механическая прочность ППГ Арала, МПа.

Для ПП Арала: X_4 – концентрация МПК-1 (водорастворимый полимер получен путем щелочного гидролиза отхода производства полиакрилонитрилового (ПАН) волокна-нитрон), %; X_5 -расход ДО, кг/м² и X_6 – расход Ca(OH)₂, кг/м², а в качестве критерия оптимизации Y_2 – механическую прочность ПП Арала, МПа.

Для ППГ Сурхандарьи выбраны следующие параметры: X_7 - концентрация ГСК, %; X_8 – расход ДО, кг/м² и X_9 – расход ЛП (листопад), кг/м², а в качестве критерия оптимизации Y_3 – механическую прочность ППГ, МПа.

Для ПП Сурхандарьи выбраны следующие переменные параметры: X_{10} – концентрация МПК-1, %; X_{11} -расход ДО, кг/м²; X_{12} –расход золы, кг/м² а в качестве критерия оптимизации Y_4 -механическую прочность корки ПП Сурхандарьи, МПа.

Пределы интервалов варьирования переменных факторов $X_1 \div X_{12}$ представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Уравнение и интервалы варьирования переменных факторов $X_1 \div X_{12}$

Переменные факторы	Единицы измерений	Основной уровень	Интервал варьирования	Уровень исследований	
				Нижний (-)	Верхний (+)
Для ППГ «Арала»:					
X_1	%	0,2	0,1	0,1	0,3
X_2	кг/м ²	0,18	0,08	0,10	0,26
X_3	кг/м ²	1,56	0,28	1,28	1,84
Для ПП «Арала»:					
X_4	%	0,3	0,1	0,2	0,4
X_5	кг/м ²	0,18	0,08	0,1	0,26
X_6	кг/м ²	0,2	0,07	0,13	0,33
Для ППГ «Сурхандарьи»:					
X_7	%	0,2	0,1	0,3	0,5
X_8	кг/м ²	0,26	0,1	0,16	0,36
X_9	кг/м ²	1,56	0,28	1,28	1,84
Для ПП «Сурхандарьи»:					
X_{10}	%	0,5	0,1	0,4	0,6
X_{11}	кг/м ²	0,18	0,08	0,1	0,26
X_{12}	кг/м ²	1,56	0,28	1,28	1,84

Опыты проводили согласно рандомизированной матрицы по двум параллельным пробам, результаты которых представлены в табл. 2, где Y^I и Y^{II} – результаты двух параллельных опытов, \bar{Y} и \hat{Y} – результаты среднего и вычисленных значений Y , соответственно.

Обработка экспериментальных данных (табл.3) производилась для получения регрессионных уравнений $Y_1 \div Y_4$ в следующем виде:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_{1,2} X_{1,2} + B_{1,3} X_{1,3} + B_{2,3} X_{2,3} \dots \dots \dots \quad (1)$$

где, B_0 – свободный член уравнения Y ;

B_i - коэффициент уравнения Y_i который рассчитываем по формуле:

$$B = \sum_{i=1}^N (X_i \bar{Y}_i) / N \quad (2) \text{ где, } N \text{ - число опытов.}$$

С использованием уравнения 2, нами рассчитаны коэффициенты регрессионных уравнений $Y_1 \div Y_4$, которые имеют следующие значения (табл. 3).

Обработка экспериментальных данных (табл.3) производилась для получения регрессионных уравнений $Y_1 \div Y_4$ в следующем виде:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_{1,2} X_{1,2} + B_{1,3} X_{1,3} + B_{2,3} X_{2,3} \dots \quad (1)$$

где, B_0 – свободный член уравнения Y ;

B_i - коэффициент уравнения Y_i который рассчитываем по формуле:

$$B = \sum_{i=1}^N (X_i \bar{Y}_i) / N \quad (2) \text{ где, } N \text{ - число опытов.}$$

Таблица 2.

Рандомизированная матрица опытов для изучения переменных факторов

№ опыта	Свободный член X_0	Переменные факторы			$X_i \cdot X_{i+1}$	$X_i \cdot X_{i+1}$	$X_{i+1} \cdot X_{i+1}$
		X_i	X_{i+1}	X_{i+2}			
n^x	+	+	+	+	+	+	+
$n+1$	+	+	+	-	+	-	-
$n+2$	+	+	-	-	-	-	+
$n+3$	+	+	-	+	-	+	-
$n+4$	+	-	-	+	+	-	-
$n+5$	+	-	-	-	+	+	+
$n+6$	+	-	+	-	-	+	-
$n+7$	+	-	+	+	-	-	+

Примечание: x^n равен 1;

Использованием уравнения 2, нами рассчитаны коэффициенты регрессионных уравнений $Y_1 \div Y_4$, которые имеют следующие значения (табл. 3).

Таблица 3.

Рассчитанные значения коэффициентов регрессионных уравнений $Y_1 \div Y_4$

Y	B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}
Y_1	2,465	0,83	0,10	0,22	0,25	-0,15	-0,005
Y_2	2,185	0,68	0,31	0,26	0,31	-0,08	-0,060
Y_3	2,609	0,82	0,15	0,24	0,29	-0,20	-0,034
Y_4	2,623	0,64	0,03	0,21	0,28	-0,09	0,033

Далее, для каждого опыта (табл. 4) рассчитывали значения дисперсий по формуле:

$$S^2 \{Y\} = \sum_{i=1}^N (\bar{Y} - \hat{Y})^2 / p - 1; \quad (3)$$

где p - число параллельных опытов ($p=2$);

Проведенный анализ рассчитанных коэффициентов в регрессионных уравнениях $Y_1 \div Y_4$ показали, что парные коэффициенты $X_2 X_3$, $X_3 X_6$, $X_8 X_9$ и $X_{11} X_{12}$ оказались малозначительными, что позволяет исключить их из полученных математических моделей. При этом отсеивание данных коэффициентов осуществляли с использованием критерия Кохрена [2, с. 448]:

$$G_i = \frac{S_{\max}^2 \{Y\}}{\sum_{i=1}^8 S_i^2 \{Y\}}; \quad (4); \text{ где: } G_i \text{ - значение Кохрена;}$$

$S_{\max}^2 \{Y\}$ - максимальное значение дисперсии;

Здесь в качестве дисперсии опыта можно использовать его среднее значение т.к. $G_i^{\text{расч}} \leq G_i^{\text{табл}}$ ($G_i^{\text{табл}} = 0,68$):

$$S_{cp}^2 \{Y\} = \frac{\sum_{i=1}^N \{Y\}}{N}; \quad (5)$$

Отсюда, дисперсию можно определить по формуле:

$$S^2 \{B\} = \frac{S_{cp}^2 \{Y\}}{N}; \quad (6); \text{ где, } S\{B\} = \sqrt{S^2 \{B\}}; \quad (7)$$

Таблица 4.

Показатели критериев оптимизации $Y_1 \div Y_4$

Показатели критериев оптимизации	Значения критериев $Y_1 \div Y_4$			
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
$\sum_{i=1}^N S_i^2 \{Y\}$	8,0	6,0	8,4	6,6
$S_i^2 \{Y\}$	1,0	0,75	1,2	0,84
$S^2 \{B\}$	0,12	0,1	0,15	0,17
$S \{B\}$	0,5	0,3	0,6	0,34
Δb	0,75	0,5	0,79	0,61
$\sum_{i=1}^N S_{R_i}^2 \{Y\}$	1,175	0,4	1,204	0,57
f	1,5	1,05	1,6	1,14
S_R	0,55	0,43	0,6	0,57
$F_{расч}$	0,5626	0,5625	0,5625	0,5625
$F_{табл.при}$	1,9	1,6	2,1	1,8
$f_1 = N - d$	5	5	5	5
$f_2 = N(m - 1)$	8	8	8	8

В табл.4 представлены расчетные значения дисперсий $Y_1 \div Y_4$.

В итоге, незначимые коэффициенты определяются на основе критериев Стьюдента-Фишера (при степени свободы $f = 8$ и уровне значимости $p = 0,95$):

$$\Delta b = \pm t + S\{B\} \tag{8}$$

где, t -значение критерия Стьюдента-Фишера (в данном случае $t = 2,31$).

Регрессионные уравнения, т.е. математические модели процессов закрепления подвижных почвогрунтов и песков (после отсева незначимых параметров) имеют следующие виды:

- при закреплении подвижных почвогрунтов Арала:

$$Y_1 = 2,465 + 0,83X_1 + 0,1X_2 + 0,22X_3 + 0,245X_1X_2 - 0,145X_1X_3 \dots \tag{9}$$

- при закреплении подвижных песков Арала:

$$Y_2 = 2,185 + 0,68X_4 + 0,31X_5 + 0,255X_6 + 0,3075X_4X_5 - 0,08X_1X_3 \dots \tag{10}$$

- при закреплении подвижных почвогрунтов Сурхандарьи:

$$Y_3 = 2,609 + 0,816X_7 + 0,151X_8 + 0,244X_9 + 0,294X_7X_8 - 0,199X_7X_9 \dots \tag{11}$$

- при закреплении подвижных песков Сурхандарьи:

$$Y_4 = 2,623 + 0,6425X_{10} + 0,0275X_{11} + 0,2075X_{12} + 0,2775X_{10}X_{11} - 0,925X_{10}X_{12} \dots \tag{12}$$

При оценке адекватности регрессионных уравнений $Y_1 \div Y_4$ реальным процессам, остаточную дисперсию (S_R^2) определяли известными методами [1, с. 327].

Из табл. 5 видно, что уравнения $Y_1 \div Y_4$ адекватно описывают рассматриваемые процессы, т.к. расчетные значения критериев Фишера во много раз меньше табличных.

Анализируя полученные результаты (табл. 3 и 4) нами в качестве оптимальных условий закрепления ППГ и ПП Арала и Сурхандарьи выбраны значения переменных факторов, которые представлены в табл. 5.

Таблица 5.

Оптимальные значения закрепления ППГ и ПП Арала и Сурхандарьи

Наименование переменного фактора	Условное обозначение	Единица измерения	Оптимальные значения
Для закрепления ППГ Арала:			
Концентрация ГСК	X_1	%	0,3
Расход ДО	X_2	кг/м ²	0,26
Расход золы	X_3	кг/м ²	1,28

Для закрепления ПП Арала:			
Концентрация МПК-1	X_1	%	0,4
Расход ДО	X_2	кг/м ²	0,26
Расход Са(ОН) ₂	X_3	кг/м ²	0,13
Для закрепления ППГ Сурхандарьи:			
Концентрация ГСК	X_1	%	0,5
Расход ДО	X_2	кг/м ²	0,16
Расход ЛП	X_3	кг/м ²	1,28
Для закрепления ПП Сурхандарьи:			
Концентрация МПК-1	X_1	%	0,6
Расход ДО	X_2	кг/м ²	0,26
Расход золы	X_3	кг/м ²	1,28

Таким образом, математическая модель закрепления ППГ и ПП Арала и Сурхандарьи позволило количественно оценить влияние переменных факторов на выбранные критерии ($Y_1 \div Y_4$) оптимизации рассматриваемых процессов, а также выявить их оптимальные значения.

Выводы

1. С использованием многофакторного планирования эксперимента обоснован выбор оптимальных технологических режимов закрепления подвижных почвогрунтов и песков Арала и Сурхандарьи.

2. На основе лабораторных и опытно-полевых исследований для оценки эффективности закрепления почвогрунтов выделены наиболее важные переменные факторы, такие как концентрация гидросиликата кальция, древесных опилок, поташа в обрабатываемых материалах.

3. Разработаны адекватные математические модели процессов закрепления подвижных почвогрунтов и песков (после отсева незначимых параметров) имеющие следующий вид:

- при закреплении подвижных почвогрунтов Арала:

$$Y_1 = 2,465 + 0,83X_1 + 0,1X_2 + 0,22X_3 + 0,245X_1X_2 - 0,145X_1X_3 \dots$$

- при закреплении подвижных песков Арала:

$$Y_2 = 2,185 + 0,68X_4 + 0,31X_5 + 0,255X_6 + 0,3075X_4X_5 - 0,08X_1X_3 \dots$$

- при закреплении подвижных почвогрунтов Сурхандарьи:

$$Y_3 = 2,609 + 0,816X_7 + 0,151X_8 + 0,244X_9 + 0,294X_7X_8 - 0,199X_7X_9 \dots$$

- при закреплении подвижных песков Сурхандарьи:

$$Y_4 = 2,623 + 0,6425X_{10} + 0,0275X_{11} + 0,2075X_{12} + 0,2775X_{10}X_{11} - 0,925X_{10}X_{12} \dots$$

Список литературы:

1. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1985.- 327 с.
2. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии 4-е изд., перераб., доп. -М.: Химия, 1985, 448 с.
3. Кулдашева Ш.А. Химическая мелиорация подвижных почвогрунтов Сурхандарьинской области новыми комплексными закрепителями на основе отхода производства для предотвращения ветровой эрозии //Журнал «Композиционные материалы». -Ташкент. 2017. №4. -С.117-120.
4. Кулдашева Ш.А., Эшметов И.Д. Изучение структурно-пористых и адсорбционных характеристик почвогрунтов и песков Арала // Журнал "Universum" химия и биология -Москва. 2017. №3. -С.117-120.
5. Кулдашева Ш.А., Эшметов И.Д., Усманов Р.М. Микроскопическое наблюдение химического закрепления засоленных песков Сурхандарьинской области комплексными добавками //Материалы республиканской научно-технической конференции. 1-Том. Ургенч. 2017. С. 29-30.
6. Чернова Н.М., Былова А.М.. Общая экология. Учебник М.: Дрофа, 2004. -252 с.