

В.В. Середин (ООО “Недра”),

В.И. Галкин (Пермский государственный технический университет)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА САНАЦИИ

На экспериментальных данных исследованы взаимосвязи некоторых показателей, определяющих эффективность агротехнического, биологического и фитологического способов санаций. По выявленным закономерностям построены математические модели, связывающие степень очистки с содержанием углеводов в почвогрунтах.

Санация нефтезагрязненных почвогрунтов производилась на территории АО “Нефтехимик”. При санации использовались агротехнический, биологический и фитологический методы.

При биологической санации содержание УВ изменяется наиболее значительно по сравнению с другими методами, о чем свидетельствуют самые высокие коэффициенты вариации (табл. 1). Среднее содержание УВ варьируется в интервале от 0,36 до 195 мг/100 г почвы при среднем значении 27,29 мг/100 г почвы. Анализ значений степени очистки показывает, что максимальная степень очистки составляет 16,9. При этом коэффициент вариации по биологической очистке составляет 1,88. Установлена значимая корреляционная зависимость /1,3/ между степенью очистки (СО) биологическим способом и содержанием углеводов в почвогрунтах (УВ), которая имеет следующий вид:

$$CO = 0,089 + 0,083 УВ \text{ при } r=0,93,$$

где УВ – содержание углеводов в грунтах, мг/100 г почвы.

Следует отметить, что данное уравнение можно использовать для прогноза степени очистки или содержания УВ в почвогрунтах в условиях, приближенных к условиям проведенного эксперимента: климатические условия средней полосы России и время санации (май-сентябрь).

При процессе очистки (СО>1) среднее значение содержания углеводов в почвогрунтах и коэффициент вариации несколько выше, чем в том случае, когда процесс очистки не протекает (СО<1).

Установлена значимая корреляционная связь в случае СО>1:

$$CO = 0,609 + 0,081 УВ.$$

Эта прогнозная модель работает в тех же условиях, которые описаны для предыдущего уравнения.

В случае, когда грунты биологическим способом не очищаются (СО<1) среднее значение УВ значительно ниже, коэффициент вариации меньше и корреляционная связь между СО и УВ не значима ($r=0,41$).

Процесс очистки осуществлялся в две стадии: май-июль и июль-сентябрь.

На первой стадии была достигнута средняя степень очистки 2,63 при максимальном коэффициенте вариации на фоне высоких концентраций УВ (40,51 мг/100 г почвы). Санация на первой стадии описывается следующим уравнением:

$$CO = -0,536 + 0,089 УВ \quad (r = 0,99).$$

На второй стадии биологической очистки снижается среднее содержание УВ до 16,70 мг/100г почвы и уменьшается коэффициент вариации и полностью отсутствует корреляционная зависимость между CO и УВ ($r = -0,06$), что, видимо, свидетельствует о том, что концентрации УВ менее 10-15 мг/100г почвы биологическим способом разлагаются недостаточно интенсивно, степень их разрушения растянута во времени.

Математическая модель, описывающая эффективность санации (снижение содержания углеводов в почвогрунтах) во времени, имеет вид

$$УВ = 30,229 - 2,579 t \quad \text{при } r = -0,31,$$

где t – время в месяцах.

Данная связь не значимая, но знак минус свидетельствует о том, что процесс санации происходит, т.е. содержание углеводов в грунтах со временем уменьшается. По данной зависимости ориентировочное время полного разрушения УВ биологическим способом составит 11,7 месяца.

При **агротехническом способе** очистки при высоких концентрациях УВ (см. табл. 1) наблюдается достаточно высокая степень очистки /2/. В случае, когда $CO > 1$, существует значимая корреляционная связь между изучаемыми показателями:

$$CO = -2,21 + 0,133 УВ \quad \text{при } r = 0,99.$$

При данном способе санации значительный эффект наблюдается во второй стадии при достаточно высоких средних содержаниях УВ (220,00 мг/100г почвы) и вариациях (1,08). Средняя степень очистки достигает 26,04.

Фитологический способ очистки осуществлялся при невысоких средних концентрациях УВ (13,14 мг/100г почвы) и незначительных вариациях (0,93). В случае, когда $CO > 1$, при средних концентрациях УВ порядка 20 мг/100 г почвы между CO и УВ установлена связь следующего вида:

$$CO = 0,751 + 0,084 УВ \quad \text{при } r = 0,83.$$

Таблица 1

Характеристики различных методов очистки

Метод и стадия очистки	Содержание УВ в грунтах, мг/100 г почвы					Степень очистки						
	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации	Интервал значений	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации	Интервал значений	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации	Интервал значений
Биологический	27,29	54,16	1,98	0,36-195,00	2,45	4,63	1,88	0,03-16,90				
а) СО>1	46,21	67,27	1,45	4,52-195,00	4,34	5,84	1,34	1,01-16,90				
б) СО<1	5,15	3,77	0,73	1,21-16,76	0,24	0,33	1,37	0,08-0,93				
в) первая стадия	40,51	75,94	1,87	1,21-195,00	2,63	6,29	2,39	0,03-16,90				
г) вторая стадия	16,70	17,21	1,03	4,52-50,76	1,21	0,74	0,61	0,03-2,20				
Агротехнический	135,13	171,47	1,27	21,46-390,00	13,72	24,01	1,75	0,20-49,71				
а) СО>1	154,15	204,78	1,32	21,46-390,00	18,23	27,25	1,49	2,37-49,71				
б) СО<1	78,08	-	-	-	0,20	-	-	-				
в) первая стадия	64,84	19,56	0,30	51,01-78,68	1,21	1,53	1,26	0,20-2,37				
г) вторая стадия	220,00	239,71	1,08	51,01-390,00	26,04	33,47	1,28	2,37-49,71				
Фитологический	13,14	12,29	0,93	0,69-34,92	1,49	1,44	0,96	0,02-3,77				
а) СО>1	22,43	1,77	0,79	8,98-34,92	2,64	1,09	0,41	1,40-3,77				
б) СО<1	3,85	2,52	0,65	0,69-6,68	0,34	0,36	1,05	0,02-0,87				
в) первая стадия	8,48	11,28	1,33	0,69-25,22	1,06	1,80	1,69	0,02-3,77				
г) вторая стадия	17,79	12,94	0,73	6,68-34,92	1,91	1,05	0,55	0,87-3,32				

Примечание: СО – показатель, характеризующий степень очистки почвогрунтов. Это отношение содержания УВ в почвогрунтах после санации или после очередной ее стадии к содержанию УВ в почвогрунтах до начала санации или очередной ее стадии.

При снижении концентраций УВ в 5-7 раз ($CO < 1$) процесс очистки фитологическим способом не происходит. На первой стадии санации при незначительных концентрациях УВ процесс санации происходит достаточно слабо (среднее значение CO равно 1,06), на второй стадии, при увеличении концентраций УВ, при некотором снижении коэффициента вариации эффективность процесса санации значительно повышается.

Таким образом, разработаны математические модели, описывающие эффективность очистки в зависимости от уровня первоначального содержания УВ в почвогрунтах. Установлена общая закономерность, связывающая снижение концентрации УВ в почвогрунтах с продолжительностью санации.

В табл. 2 приведены осредненные данные по очистке нефтезагрязненной территории биологическим, агротехническим и фитологическим способами. Отсюда видно, что в среднем при концентрациях порядка 40 мг/100г почвы и очень высокой вариации (2,07) средняя степень очистки составляет 3,94. Очистка описывается регрессионной моделью, приведенной в табл. 2, при значимом коэффициенте корреляции.

На первой стадии очистки в случае, когда $CO > 1$, средние концентрации УВ выше, чем в общем среднем случае, коэффициенты вариации снижаются, и наблюдается повышение средней степени очистки. Зависимость между CO и УВ для этого случая приведена в табл. 2, и она является статистически значимой.

На второй стадии очистки в случае, когда $CO > 1$, средние концентрации УВ ниже, чем на первой стадии, коэффициенты вариации выше и средняя степень очистки ниже. Зависимость между CO и УВ для этого случая приведена в табл. 2, и она также является статистически значимой.

На первой и второй стадии при $CO < 1$, когда количество УВ в процессе очистки не уменьшается (в основном, когда концентрация УВ меньше 10-30 мг/100 г почвы), нарушается взаимосвязь между CO и УВ.

По обобщенным результатам наблюдаются высокие корреляционные связи между CO и УВ на обеих стадиях очистки, что свидетельствует о достаточно высокой универсальности предлагаемых методов очистки.

С целью изучения изменения УВ во времени нами построена осредненная регрессионная модель, которая имеет вид

$$УВ = 44,796 - 2,498 t \text{ при } r = -0,85,$$

где t - время санации в месяцах.

Таблица 2

Характеристика процессов очистки

№ п/п	Степень очистки – CO	Содержание УВ, мг/100 г почвы – УВ	Уравнение регрессии
1	$\frac{3,94 \pm 10,12; 2,56}{0,02 - 49,71}$	В целом по очистке $\frac{40,04 \pm 83,17; 2,07}{0,36 - 390,00}$	$CO = -0,7550 + 0,11747 UV, r = 0,96$
2	$\frac{6,83 \pm 12,99; 1,90}{1,01 - 49,71}$	Первая стадия очистки при $CO > 1$ $\frac{62,54 \pm 105,55; 1,68}{4,52 - 390,00}$	$CO = -0,6981 + 0,12041 UV, r = 0,97$
3	$\frac{0,30 \pm 0,32; 1,06}{0,02 - 0,93}$	Первая стадия очистки при $CO < 1$	
4	$\frac{5,64 \pm 13,32; 2,36}{0,03 - 49,71}$	Первая стадия очистки при $CO < 1$ $\frac{11,54 \pm 23,73; 2,05}{0,36 - 78,68}$	$CO = 0,30999 - 0,00006 UV, r = -0,04$
		Вторая стадия очистки при $CO > 1$ $\frac{46,97 \pm 103,91; 2,21}{4,52 - 390,00}$	$CO = -0,3187 + 0,12703 UV, r = 0,99$
5	$\frac{2,01 \pm 4,60; 2,28}{0,02 - 16,19}$	Вторая стадия очистки при $CO < 1$ $\frac{30,53 \pm 54,61; 1,78}{0,36 - 195,00}$	$CO = -0,3335 + 0,07696 UV, r = 0,91$

Примечание: в числителе первая цифра – среднее значение, вторая – среднеквадратичное отклонение, третья – коэффициент вариации; в знаменателе – интервал значений.

Анализ построенной модели во времени показал, что содержание УВ равно нулю, когда продолжительность санации составляет 17,9 месяца, к сожалению, по агротехническому и фитологическому методам санации построение временных моделей не представляется возможным из-за отсутствия достаточных для статистической обработки данных и большой вариации имеющихся данных.

Полученные выше модели, связывающие степень очистки с содержанием УВ в почвогрунтах, являются общими. По данным моделям могут быть получены конкретные результаты, позволяющие прогнозировать степень очистки как до проведения работ по санации, так и в ее процессе различными способами (в описываемом конкретном случае – агротехническим, биологическим и фитологическим). Эти модели дают возможность регулировать процесс санации в случае неудовлетворительных ее результатов путем корректировки решений по выбору способа санации или путем проведения дополнительных мероприятий.

Библиографический список

1. Аронов В.И. Математические методы обработки геологических данных на ЭВМ. М., 1977.
2. Вялкова В.И., Большаков А.А. Ликвидация последствий аварийных разливов нефти и мазута //Изв.вузов. Нефть и газ. 1998. № 6. С. 120-124.
3. Галкин В.И., Середин В.В., Бачурин Б.А. Применение вероятностно-статистических моделей при изучении распределения углеводов в грунтах и выборе технологий их санации /Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 1999.

Получено 29.05.99

УДК 573

А. Г. Иванов (Пермский государственный технический университет)

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МИНЕРАЛОВ ГАЛОПЕЛИТОВ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВЫХ РУД ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В связи с трудностями, возникающими при флотации сильвина Верхнекамского месторождения, исследован состав содержащихся в калийных рудах труднорастворимых примесей (галопелитов). Установлены особенности минерального состава галопелитов, а также характер изменения отдельных минеральных фаз по площади месторождения. Выявлен характер дифференциации минерального состава галопелитов в процессе флотационного обогащения сильвинитовых руд.

Калийные руды Верхнекамского месторождения постоянно содержат в своем составе галопелитовый материал. Его количество в рудах - от 2 до 9 % и зависит от мощности галопелитовых прослоев в продуктивных пластах. Мине-