

УДК 551.588.3

*Н.С. Остапенко*

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ  
ГЕОХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

*Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепропетровск*

**Досліджено вплив температури й вологості на склад мобільних форм мінеральних добрив і важких металів у ґрунтах. Показано, що вплив погодних умов на рухливість елемента-забруднювача більш істотно, ніж його доза.**

**Исследовано влияние температуры и влажности на содержание мобильных форм минеральных удобрений и тяжелых металлов в почвах. Показано, что влияние погодных условий на подвижность элемента-загрязнителя более существенно, чем его доза.**

**Общие положения**

Антропогенное изменение геохимического фона может происходить как деструктивно – в виде загрязняющих отходов, стоков, выбросов различных отраслей промышленности, так и созидательно – внесение элементов минерального и органического питания, дефолиантов в сельскохозяйственном производстве. Количество и соотношений форм элементов в почве меняется во времени и определяется естественной динамикой почвенно-геохимических процессов. Трудность рассмотрения взаимодействия почвы с загрязнителем обусловлена многообразием загрязнителей и сложностью гетерогенной почвенной системы, совокупность которых в каждом конкретном случае уникальна.

Многолетняя изменчивость климатических условий влияет на состояние загрязнения почвенного слоя, которое, в свою очередь отражается на биоценозе. К наиболее значимым климатическим параметрам следует отнести температуру окружающей среды и количество осадков, определяющих влажность почвенного покрова. Обширная литература, посвящена влиянию климатических факторов на параметры почв и урожайность растительных систем [1-3]. Но в большинстве своем приведенные данные представлены либо осредненными климатическими характеристиками (биоклиматический потенциал, гидротермический коэффициент) либо оперируют качественными понятиями «много – мало».

Основной механизм защиты атмосферы, гидросферы, растений – способность почвы поглощать загрязняющие вещества. Потенциальные возможности поглощения племен-

тов почвами и удерживания их в подвижном состоянии обеспечиваются всеми известными механизмами поглощения: образованием труднорастворимых солей, ионным обменом, специфической сорбцией. Соотношение скоростей обменных процессов почвы с загрязняющими веществами определяет экологическое значение почв в формировании устойчивости экосистемы к загрязнению.

О поведении загрязняющих веществ можно судить по содержанию их водорастворимых и обменно-растворимых форм в почвах. На процесс изменения подвижности химических соединений влияют как природные факторы (физические, химические, коллоидные свойства почв, температурный режим и влажность почвы), так и антропогенные (применение удобрений, техногенное загрязнение компонентов геологической среды и др.) Свойства почв сильно влияют на трансформацию подвижных соединений [4]. Однако гораздо меньше представлено данных как о влиянии температуры [5,6], так и о влиянии влажности [7] на регуляцию сорбционно-десорбционных процессов неорганических удобрений и тяжелых металлов в почвах.

В связи с этим, цель данной работы заключалась в исследовании влияния температуры и влажности на содержание мобильных форм некоторых элементов минерального питания и тяжелых металлов в почвах.

Почвенный климат, в частности его главная составная часть – температура, оказывает воздействие на физические, химические и биологические процессы в почве, влияет на мобилизацию элементов минерального питания и элементов-загрязнителей. В частно-

сти, изменение температуры приводит к изменению реакции среды (рН), величины окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), характер взаимодействия почвенного поглощающего комплекса (ППК) с ионами, находящимися в почвенном растворе. Реакция почвенного раствора ( $pH = - \log C_{H^+}$ ), имеет очень большое значение для почвенных процессов. Различным типам почв соответствует различный интервал рН. Для черноземов характерна нейтральная реакция (рН ~7), для подзолистых и болотных

почв - кислая (рН < 5), для засоленных - щелочная реакция (рН >8). рН среды влияет на изменение подвижных форм ионов. При уменьшении рН в почвенный раствор могут переходить обменные формы ионов. В работе [5] было установлено, что низкая температура приводит к уменьшению рН. Для некоторых почв уменьшение температуры от 15-20 °С до 6-7°С уменьшает рН на 1,2 единицы. Влажность оказывает влияние на реакцию среды при температурах выше 10-15 °С (таблица 1).

Таблица 1- Влияние температуры и влажности на рН дерново-подзолистой почвы [5]

t, °С	W = 90 %	W = 60 %	W = 30 %
6 – 7	4,8	4,8	4,9
15 - 20	5,2	5,5	5,6

Изменение температуры и влажности сказывается на величине окислительно-восстановительного потенциала (ОВП).

Согласно уравнению Нернста:  $E = E^0 + (2,3RT/nF) \lg(Ox/Red)$ , температура влияет на величину ОВП. Если в изучаемой системе отсутствует твердая фаза, то влияние невелико и не превышает 2 мВ на 10 °С. Более существенно температура влияет на растворимость компонентов твердой фазы почвы, скорость химических реакций; интенсивность биохимических и биологических процессов. При повышении температуры на 10 °С скорость реакции увеличивается в 2-4 раза. Изменение скорости химических и биохимических реакции и растворимости соединений не учитываются уравнением Нернста; для оценки этих факторов необхо-

димы прямые эксперименты [8]. Кроме того, повышение влажности способствует переходу в растворенное состояние различных компонентов органической и минеральной части почвы, влияющих на окислительно-восстановительное состояние почвенной системы. При исследовании влияния температуры на почвенный поглощающий комплекс, на его взаимодействие с находящимися в почвенном растворе ионами было установлено [5], что результаты определения содержания фосфора и калия в зависимости от температуры в лаборатории были различны: при 20 °С показатели были в два раза выше, чем при 10 °С. Максимальные изменения вытеснения катионов и анионов происходили в интервале температур 10 – 15 °С.

**Объекты и методы исследования**

Исследования по влиянию температуры и влажности на параметры почвы и содержание в ней водорастворимых элементов минерального питания проводили на полигоне, представляющем собой совокупность делянок с тремя уровнями влажности (W = 7–28 %), тремя уровнями минерального питания и защищенных от естественных осадков. В качестве удобрения использовали нитрат аммония – аммиачную селитру ( $NH_4NO_3$ ) – одно из самых эффективных азотных удобрений в дозах от 90 до 140 кг/га действующего вещества. Длительность опыта – 3 ве-

гетационных сезона, отличающихся друг от друга метеорологическими параметрами.

Определяемыми параметрами являлись: рН, окислительно-восстановительный потенциал, концентрации нитрат-ионов ( $NO_3^-$ ), ионов аммония ( $NH_4^+$ ), кальция ( $Ca^{+2}$ ), калия ( $K^+$ ). Измерения проводили потенциометрическим методом с использованием ионоселективных электродов с соответствующей функцией в трехкратной повторности. Погрешность измерений не превышала 5 %. Влажность определяли весовым методом.

При исследовании содержания тяжелых металлов [9] уровень загрязнения порядка 5 ПДК создавали внесением сульфатов цинка и меди раздельно в количестве 550 и 330 мг/кг. Опыты проводили в двух вариантах: (1) - влажность 60-70 % от полной полевой влагоемкости (ППВ), температура ~20 °С; (2) - влажность – ППВ, температура ~ 10 °С. В опыте выращивали ячмень.

Извлечение цинка и меди из почв производили ацетатно-аммонийным буфером (рН = 4,8 – обменно-растворимые соедине-

ния) и 1 М раствором соляной кислоты (кислоторастворимые формы). Метод определения металлов – атомно-адсорбционный. Время опыта – 30 суток.

Опыты проводили на дерново-подзолистой почве с характеристиками: плотность объемная ( $\gamma$ ) – 1,33 г/см<sup>3</sup>, плотность твердой фазы ( $\rho$ ) – 2,63 г/см<sup>3</sup>, пористость – 42,2 %, коэффициент фильтрации ( $K_{\phi}$ ) –  $1,4 \cdot 10^6$  м/с, величина линейного набухания (R)-2 %, площадь удельной поверхности ( $S_{уд}$ )– 15 м<sup>2</sup>/г, содержание гумуса 1,4 %.

### Результаты и обсуждение

Эксперименты по изучению изменения геохимического фона в натурном опыте, обусловленные ежегодными колебаниями климатических факторов показали следующие результаты.

Измерения реакции среды по профилю почвы в течение периода вегетации показали, что основное различие в значениях рН наблюдается в стартовый момент времени, далее величина рН становится меньшей и примерно одинаковой в разные годы (рисунок 1). Причем изменение рН касается только пахотного горизонта (0 – 20 см), в подпахотном горизонте вариации реакции среды отсутствуют. Таким образом, можно сделать предположение о влиянии агроклиматических факторов на данный параметр именно в начальный момент времени.

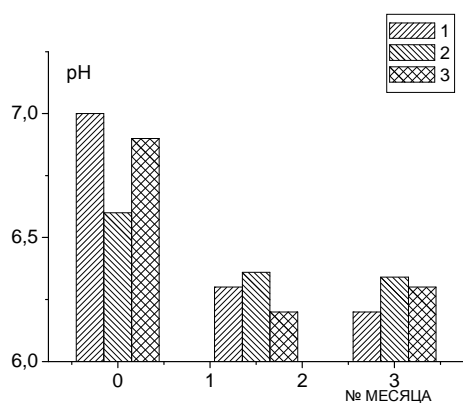


Рисунок 1 - Изменение рН почвы в течение периода активной вегетации в разные годы (1, 2, 3)

Сравнение результатов выявили связь рН со среднемесячной температурой предпосевного периода  $T_0$  и влажностью почвы W. Влажность почвы определяется количе-

ством осадков в предшествующие месяцы и в некотором приближении для данной почвы ее можно описать зависимостью:  $W = 13,2 + 8 Q/Q_{\text{баз}}$ , где Q и  $Q_{\text{баз}}$  – сумма осадков предшествующих месяцев текущего года и среднееголетних значений соответственно.

Ранее отмечено, что влияние температуры на рН почвы проявляется сильнее, чем влажность, что особенно заметно при низкой температуре (см. таблицу 1). Среднемесячная температура рассматриваемого периода составляла 7 °С, 9,7 °С и 11 °С. В связи с этим можно считать, что именно температура в исследуемый период определяет изменение рН почвы в наших экспериментах (рисунок 2).

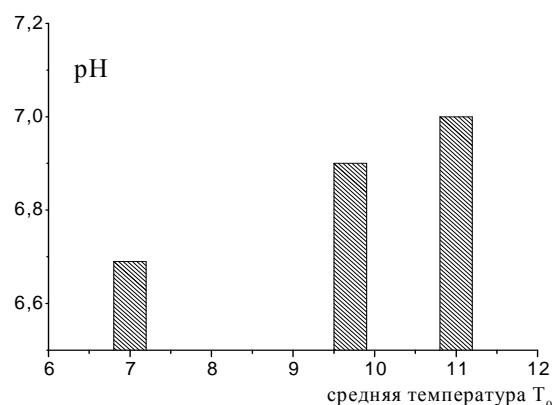


Рисунок 2 - Зависимость рН почвы от средней температуры посевного периода  $T_0$

Окислительно-восстановительный потенциал почвы может являться характеристикой типа почвы, так как связан с минеральным и органическим составом почвы, соо-

тношением окисленных и восстановленных форм. Средние величины ОВП в этих опытах так же связаны с температурой, то есть агрометеорологическими условиями конкретного сезона. На примере данного пара-

метра проиллюстрируем влияние температуры начального периода на окислительно-восстановительное состояние растительного материала и зерна, полученного на этом полигоне (таблица 2).

Таблица 2 - Средние значения окислительно-восстановительного потенциала (мВ) почвы, растительного материала и зерна при разной температуре предпосевного периода  $T_0$

$T_0, ^\circ\text{C}$	Почва	Растительная масса	Зерно (пшеница)
7	313	377	402
9,7	367	459	599
11	150	190	210

Сходность зависимостей  $\text{ОВР} = f(T_0)$  и  $\text{pH} = f(T_0)$  позволяют предполагать, что изменения этих параметров могут быть объяснены одинаковыми причинами: влиянием температуры на подвижности ионов металлов, устойчивость почвенных комплексов, микробиологическую активность.

При внесении аммиачной селитры ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) половина азота содержится в форме аммония, способного поглощаться почвой, оставаясь доступным растениям, и половина в форме нитратов, обладающих большей подвижностью в почвенном растворе. В наших опытах измеряемые значения концентрации нитрат-ионов и ионов аммония не соответствовали внесенной дозе минерального питания. В одном из сезонов при внесении  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в дозе 90 кг/га концентрация ( $\text{NH}_4^+$ ) составляла более 1000 мг/кг почвы, в другом сезоне при уровне селитры 140 кг/га – концентрация ионов аммония оказалась менее 100 мг/кг почвы. Эксперимент показал, что содержание обеих форм минерального азота связаны с агроклиматическими условиями начального периода – с температурой и влагосодержанием почвы.

На рисунке 3 приведены средние по экспериментальному полигону величины концентрации  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$  от относительной суммы осадков предшествующего периода. При увеличении суммы осадков вдвое относительно многолетних осадков содержание  $\text{NH}_4^+$  многократно увеличивается, но, по видимому, до предела, определяемого дозой загрязнителя и возможностями сорбционно-десорбционных процессов в почве.  $\text{NO}_3^-$  не участвует в обменных процессах, уменьшение концентрации обусловлено его выносом

фильтрационными водами в нижние слои почв.

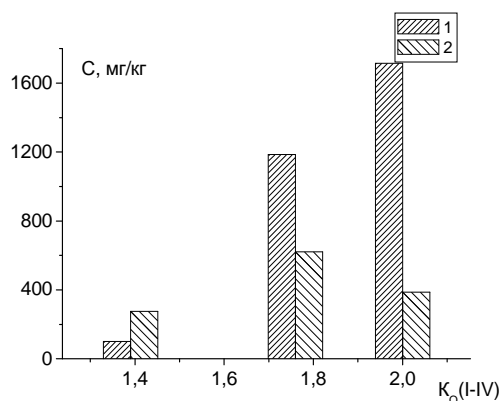


Рисунок 3 - Содержание ионов аммония (1) и нитрат-ионов (2) в почве при разных уровнях осадков

Изменение концентрации минерального азота  $N(N - \text{NH}_4^+ + N - \text{NO}_3^-)$  в пахотном слое почвы от средней температуры предпосевного периода приведено на рисунке 4.

В почве содержание аммония и нитратов в почве никогда не бывает постоянным. При внесении неорганического азота часть его может связываться в форме органических соединений, затем высвобождаться в минеральной форме, доступной измерению. Температура и pH почвенного раствора влияют на относительные скорости трансформации  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$ . Повышение температуры почвы от 7 до 11  $^\circ\text{C}$  приводят к почти четырехкратному увеличению подвижных (водорастворимых и обменных) форм минерального азота.

Аммиачная селитра после внесения в почву растворяется и вступает в реакцию с по-

чвенным поглотіаючим комплексом [ППК],  
вытесняя соединения кальция:

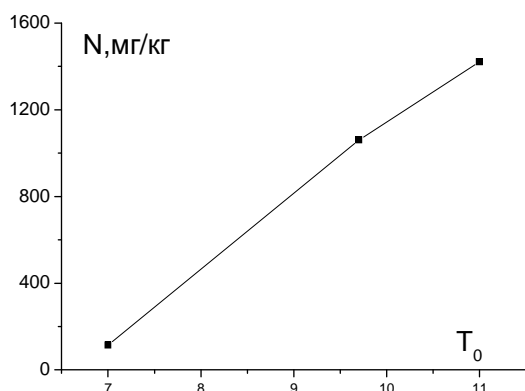
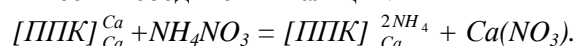


Рисунок 4 - Зависимость содержания неорганического азота  $N(N - NH_4^+ + N - NO_3^-)$  от  $T_0$

В связи с этим исследовано поведение ионов кальция в почве в зависимости от климатических параметров. Измерения содержания ионов кальция в почве показали, что происходит существенное его изменение в пахотном горизонте в предпосевной период, которое значительно уменьшается к концу вегетационного периода (рисунок 5). В подпахотном горизонте различия концентрации  $Ca^{2+}$  не существенны ни в течение одной вегетации, ни между ними, приближаясь к значениям, обнаруженным в пахотном горизонте в конце вегетации.

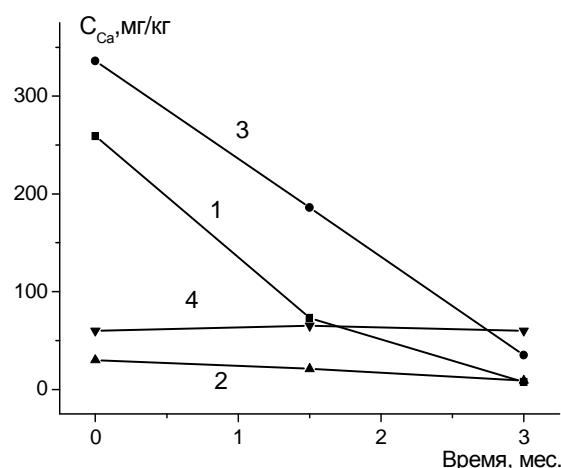


Рисунок 5 - Динамика содержания ионов кальция в почве в течение периода активной вегетации в разные годы: пахотный горизонт (1, 3), подпахотный горизонт (2, 4)

Далее рассмотрим влияние температуры почвы при различной влажности на подвижность тяжелых металлов. По данным работ [9,11] увеличение влажности (от 65 % ППВ до ППВ) и понижение температуры (от 21 °С до 9 °С) приводит к уменьшению закрепления металлов почвой.

Изменение мобильных и кислоторастворимых форм металлов в почвах легкого ( $pH_{KCl} = 7,0$ ) и тяжелого ( $pH_{KCl} = 5,9$ ) гранулометрического состава при влажности 60-70 % от ППВ и температуре = 20 °С представлено в таблице 3 [9].

Таблица 3 - Содержание мобильных и кислоторастворимых соединений металлов в разных почвах (% от исходного загрязнения) при разном времени экспозиции

Время экспозиции	Почва легкого грансостава		Почва тяжелого грансостава		Почва легкого грансостава		Почва тяжелого грансостава	
	Zn моб.	Zn к/р.	Zn моб.	Zn к/р.	Cu моб.	Cu к/р.	Cu моб.	Cu к/р.
40	30		13		30	55	30	55
80	21	22	10	16	24	55	19	55

Закрепление цинка в первую фазу более активно происходит в тяжелосуглинистой почве. После 80 суток экспозиции количество мобильных соединений цинка несколько снижается. Изменение подвижности Си практически не зависят от свойств почв. Содержание наиболее мобильных соединений меди в почвах различного гранулометрического состава было практически одинаковым через 40 суток экспозиции, слегка уменьшилось через 80 суток. Количество кислоторастворимых соединений меди было одинаковым независимо от времени экспозиции. Фиксация почвами соединений Zn по сравнению с соединениями Си более быстрая и прочная. В работе [10] указывается, что тяжелые металлы сначала быстро адсорбируются поверхностью

почвы (в течение 30 минут), а затем диффундируют внутрь почвенных частиц, в результате чего их подвижность может снижаться со временем.

Результаты опытов по влиянию температуры и влажности на подвижность соединений цинка и меди в соответствии условиям (1) и (2) приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Содержание различных форм (мобильной и кислоторастворимой) Zn и Cu (%) при разных температурных и влажностных условиях (экспозиция 80 дней; почва легкосуглинистая)

№	Форма металла	Условия опыта	Zn	Cu
1	Мобильная	Стандарт: W=0,65 ППВ, t ~20 °С	16,4	24,2
2	Кислоторастворимая	Стандарт: W=0,65 ППВ, t ~20 °С	21,8	40,9
3	Мобильная	W= ППВ, t ~10 °С	40,0	53,0
4	Кислоторастворимая	W= ППВ, t ~10 °С	87,0	75,8

Увеличенная влажность и более низкая температура приводила к меньшему закреплению металлов почвой по сравнению со стандартом. Количество мобильных соединений Zn через 80 суток составляло 40 % от внесенного. Содержание Zn кислоторастворимого возрастало до 80-90 % от внесенного количества. Содержание Cu мобильного возросло в два раза по сравнению со стандартными условиями – до 40 – 50 % от внесенного количества. Содержание Cu кислоторастворимого составило более 70 %.

То есть уменьшение температуры на 10 ° и увеличение влажности от 65 % до 100 % ППВ приводит к увеличению содержания и мобильных и кислоторастворимых форм Zn и Cu. Эти данные согласуются с результатами работы [11], где было показано, что при более высоких температурах (21 °С по сравнению с 9 °С) экстракция мобильных соединений цинка снижалась на 10-12 % при времени инкубации – 1 месяц.

Большее влияние условий увлажненности на подвижность Zn по сравнению с Cu мо-

жет быть связано с преимущественной фиксацией Zn оксидами железа и марганца. Однако в природных условиях цинк сорбируется сильнее, чем медь, что связано с образованием устойчивых комплексов меди с органическим веществом. Разные условия увлажнения влияют на подвижность Zn и Cu в течение первых 100 дней инкубации. В первые 20-50 дней увеличение влажности может приводить как к увеличению, так и снижению количества наиболее мобильных соединений [7].

К сожалению, в опытах по изменению подвижности тяжелых металлов в почвах отсутствуют данные по изменению рН и окислительно-восстановительного состояния почв, которые сильно реагируют на изменение температуры и увлажненности, что в свою очередь влияет на подвижность химических элементов. Вопрос о влиянии биологических систем на процессы мобилизации тяжелых металлов в широком диапазоне температур и увлажнения требует дальнейшего изучения.

### Заключение

Таким образом, изменение температурных и влажностных характеристик почвенной системы существенным образом влияет на подвижность металлов-загрязнителей, изменяя содержание и мобильных и кислоторастворимых соединений в системе. Влияние погодных условий на подвижность элементов минерального питания и тяжелых металлов более существенно, чем доза элемента-загрязнителя.

Изменение содержания мобильных форм загрязнителей, будь то минеральные удобрения или тяжелые металлы, при отсутствии

учета метеорологических факторов приводит к систематическим ошибкам в расчетах доз внесения удобрений или превышения ПДК в случае загрязнения почв тяжелыми металлами. Геохимическое состояние пахотного слоя в начальный период вегетации при относительно низких температурах или в климатических зонах с небольшой суммой активных температур существенно влияет на минеральный состав сельскохозяйственной продукции, зараженность болезнями и урожайность [12]. Метеорологические условия периода активной вегетации могут существ-

венно скорректировать неблагоприятные последствия начального состояния системы почва-растение. Поэтому особенно важно

учитывать химическое состояние почвенной системы в зависимости от текущих природных факторов.

#### Перечень ссылок

1. Панников В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай. - М.: Агропромиздат, 1987. - 512 с.,
2. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 144с.
3. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 248 с.
4. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. - М.: Мир, 1989. - 439 с.
5. Коровин А.И. Роль температуры в минеральном питании растений. - Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 284 с.
6. Barrow N.J. A brief discussion on the effect of temperature on the reaction of inorganic ions with soil. // Soil. Sci. - 1992. - V. 43. - P. 37- 45.
7. Tagami K., Uchida S. Aging effect on bioavailability of Mn, Co, Zn and Tc in Japanese agricultural soil under water logged condition // Geoderma. - 1998. - V. 84. - P. 3-13.
8. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. - М.: Колос, 1982. 247
9. Карпова Е.А., Голятина С.В., Ермаков А.А. Подвижность Zn И Cu в загрязненных дерново-подзолистых почвах агроценозов в зависимости от природных и антропогенных факторов // Сб. материалов II Международной конференции «Современные проблемы загрязнения почв», М., 28 мая - 1 июня 2007. - М., 2007. - С. 369-372.
10. Brummer V.W., Gerth J. Reaction kinetics of the adsorption and desorption of nickel, zinc and cadmium by goethite. // Soil. Sci. - 1988. - V. 39. - P. 37-52.
11. Almas A., Singh B.R., Salbu B. Mobility of Cd<sup>109</sup> and Zn<sup>65</sup> in soil influenced by equilibration time, temperature and organic matter. // Proceedings of extended abstracts 5<sup>th</sup> Int. Conf. on the Biogeochemistry of Trace Elements. Vienna, Austria. V.I.P. 130-131.
12. Остапенко Н.С., Кириченко В.А. К вопросу о проявлениях векового цикла солнечной активности в продуктивности растительных биогеосистем. // Екологія і природокористування. - Дніпропетровськ, 2007. - Вып. 10. - С.97-103.
13. Остапенко Н.С. Влияние агроклиматических условий на минеральный состав зерна яровых культур. // Матеріали третьої науково-практичної конференції «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів». - Дніпропетровськ, 2005. - С. 88-90.

*N.S. Ostapenko*

#### INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON PARAMETERS OF GEOCHEMICAL POLLUTION

*Institute of Problems on Nature Management and Ecology National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk*

**Influence of temperature and humidity on the content of mobile forms of fertilizers and heavy metals in soils is investigated. It is shown, that influence of weather conditions on mobility pollution-element is more essential, than its doze.**

*Надійшла до редколегії 11 вересня 2008 р.  
Рекомендована членом редколегії канд.біол.наук О.О. Скрипником*