

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.459.2:631.43:631.445.24

### ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕЛЯХ ПЛАНИРОВАНИЯ И АДАПТАЦИИ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ К ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ БЕЛАРУСИ

**А.Ф. Черныш, А.Э. Радюк**

*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

#### ВВЕДЕНИЕ

Проблема предотвращения эрозии почв, как основного вида их деградации в Беларуси, и снижение негативного влияния эрозионных процессов на состояние окружающей среды и эффективность сельскохозяйственного использования земель стоит особенно остро.

Развитие эрозионных процессов обусловлено совокупным воздействием геоморфологического, климатического, почвенного и антропогенного факторов. Геоморфологический фактор во многом обуславливает интенсивность водной эрозии, так как от рельефа местности зависит скорость и сила течения потоков воды, фиксация их на определенных площадях и линейных природных границах. Климатический фактор является непосредственным двигателем процесса водной эрозии через количество осадков и характер их выпадения, а также в значительной степени обуславливает развитие ветровой эрозии через особенности ветрового режима и гидротермические условия территории. Важным фактором является также характер почвообразующих пород, поскольку почва наследует во многом их свойства и, прежде всего, способность противостоять разрушающему действию воды и ветра. В последнее время все большее значение приобретает антропогенный фактор, к сожалению, чаще всего способствующий усилению эрозионной деградации почв.

Эрозия почв имеет выраженные региональные и локальные черты по степени своего проявления. Выполненное в Институте почвоведения и агрохимии почвенно-экологическое районирование позволило выделить на территории республики три почвенно-экологические провинции: северная (проявление водной эрозии), центральная (водная и частично ветровая эрозия) и южная (преимущественно ветровая эрозия). Каждая из выделенных провинций характеризуется определенными природными и антропогенными факторами и различным долевым их участием в формировании эрозии.

Планирование противоэрозионных комплексов и адаптация их к конкретным почвенно-экологическим условиям невозможно без выявления и всесторонней оценки влияния факторов, вызывающих эрозию, и, тем самым, оказывающих негативное влияние на сельскохозяйственное производство.

В этой связи, цель проведенных исследований заключалась в выявлении и количественной оценке влияния факторов, формирующих эрозию в различных почвенно-экологических провинциях Беларуси.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились факторы, обуславливающие развитие водно-эрозионных процессов в центральной и северной почвенно-экологических провинциях и дефляционных процессов в южной почвенно-экологической провинции.

Оценка факторов, влияющих на процессы, происходящие в агроландшафтах, в том числе на эрозионные процессы, чаще всего осуществляется методами статистического анализа. Связь между характеристиками природной среды и результатами их взаимодействия описывается корреляционными зависимостями, регрессионными уравнениями, результатами факторного анализа.

Факторный анализ, как метод статистической обработки данных, известен несколько десятилетий. Основной целью данного факторного анализа является обнаружение скрытых (ранее неизвестных) общих факторов, объясняющих связи между наблюдаемыми признаками объекта (процесса). Первоначально предполагается, что нам неизвестно какие именно факторы влияют на формирование процесса (в нашем случае процесса эрозии). Поэтому используется набор признаков, которые тем или иным образом зависят от природных условий [1, 2].

Методами факторного анализа решаются три типа задач:

- отыскание скрытых, но предполагаемых закономерностей, которые определяются воздействием внутренних или внешних признаков;
- выявление и изучение статистической связи признаков с факторами или главными компонентами;
- сжатие информации путем описания процесса при помощи общих факторов или главных компонентов, число которых меньше количества первоначально взятых признаков [3].

При оценке факторов развития водно-эрозионных процессов можно выделить несколько групп критериев: геоморфологические (доля склонов крутизной более 3° и длиной 200, 300, 500 и более метров на пахотных землях, горизонтальное и вертикальное расчленение рельефа); климатические (количество осадков, ГТК, запасы воды в снеге, слой стока, эрозионный потенциал дождей и др.); почвенные (доля суглинистых и глинистых почв, доля песчаных и супесчаных почв в структуре пахотных и сельскохозяйственных земель); антропогенные (распаханность, сельскохозяйственная освоенность).

В качестве критериев, предопределяющих развитие ветровой эрозии, выбраны климатические: количество дней с влажностью воздуха менее 30 %, температура воздуха, температура поверхностного слоя почвы, количество осадков в наиболее дефляционноопасный период (апрель-октябрь), повторяемость ветров со скоростью более 3 м/с (ветры, способные вызывать разрушение почвы); почвенные: удельный вес дефляционноопасных почв в площади пашни районов; антропогенные: сельскохозяйственная освоенность, доля пахотных земель в составе сельскохозяйственных, количество осушенных пахотных почв. При выборе критериев не учитывались геоморфологические характеристики, поскольку методика факторного анализа предполагает исключение из числа ана-

лизируемых характеристик малоинформативных либо дублирующих. Сохранение коррелированных признаков приводит к искажению результатов анализа.

Общий принцип расчета основывается на предположении, что общую дисперсию многомерного массива данных можно описать некоторым числом скрытых факторов, каждый из которых может объединять в себе несколько первоначальных показателей. Первым этапом факторного анализа является выбор факторов, которые представляют собой линейные комбинации исходных признаков и содержат в себе большую часть общей изменчивости (дисперсии) наблюдаемых данных, а поэтому передают основную часть информации, заключенной в первоначальных данных. В нашем случае для этого использовался метод главных компонент. Выделяемые таким образом факторы являются общими, так как они воздействуют на все параметры процесса, а не на какой-то один параметр. Также эти факторы призваны подтвердить первоначальную гипотезу развития процесса на основании измерений реальных характеристик [4, 5].

Конечным результатом факторного анализа является матрица факторного отображения. Выходной показатель характеристики исследуемого параметра – отклик – имеет достоверное влияние на общую дисперсию при значении  $\geq 0,70$ . Анализ откликов дает качественную интерпретацию факторов. Вклад факторов в общую дисперсию показывает степень влияния каждого из них на интенсивность протекания анализируемого процесса [6].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных исследований для условий северной, центральной и южной провинций были определены ведущие факторы, обуславливающие развитие водной и ветровой эрозии.

Как для северной, так и для центральной провинций, по данным проведенного анализа, ведущими являются три фактора формирования водно-эрозионных процессов. Вклад этих факторов в общую (суммарную) дисперсию составляет 79-80% (табл. 1,2). В южной провинции также выделено три фактора, вклад которых в суммарную дисперсию – 95%.

Таблица 1

**Матрица факторного отображения для северной почвенно-экологической провинции**

Признаки	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Эрозионный индекс осадков	<b>0,87*</b>	0,21	-0,12
Слой весеннего склонового стока с зяби, мм	<b>0,84</b>	0,04	0,48
Доля склонов крутизной более 3 <sup>0</sup> на пашне, %	0,09	<b>0,76</b>	0,60
Доля склонов длиной менее 500 м на пашне, %	0,32	<b>0,87</b>	0,13
ГТК	0,65	0,07	0,21
Запасы воды в снеге к началу весеннего снеготаяния, мм	<b>0,82</b>	0,18	0,26
Доля суглинистых и глинистых почв на пашне, %	-0,01	0,22	<b>0,90</b>
Доля песчаных и супесчаных почв на пашне, %	0,11	0,54	<b>-0,82</b>
Распаханность территории, %	0,38	0,62	-0,32
<b>Вклад в общую дисперсию, %</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>22</b>

\*наиболее значимые факторные нагрузки (отклики)

Различия в природных условиях центральной и северной провинций обусловили закономерности формирования водно-эрозионных процессов, а также формы их проявления.

Для северной провинции, выделенный по результатам статистического анализа, первый фактор можно интерпретировать как климатический, второй – геоморфологический, и третий фактор может быть назван почвенным (рис. 1). В этой провинции антропогенное воздействие не носит выраженного характера.

В центральной провинции выявлены другие закономерности развития водной эрозии нежели в северной провинции. Распределение факторных нагрузок и вклад каждого фактора в суммарную дисперсию многомерного массива позволяют интерпретировать первый фактор для центральной почвенно-экологической провинции как почвенно-антропогенный (наибольшее значение имеют доля почв тяжелого и легкого гранулометрического состава и распаханность территории), второй фактор обозначен нами как геоморфологический (существенное влияние оказывают параметры рельефа), третий фактор может быть определен как климатический (наиболее значимые факторные нагрузки приходятся на климатические показатели) (табл.2, рис.1).

Таблица 2

**Матрица факторного отображения для центральной почвенно-экологической провинции**

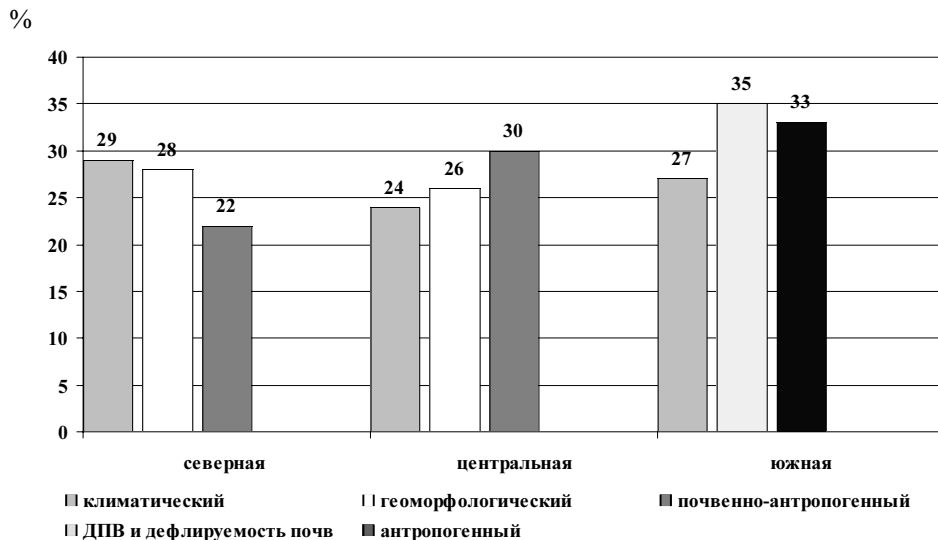
Признаки	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Эрозионный индекс осадков	-0,31	-0,17	0,65
Слой весеннего склонового стока с зяби, мм	0,20	0,20	<b>0,87</b>
Доля склонов крутизной более 3° на пашне, %	-0,04	<b>0,81</b>	0,44
Доля склонов длиной менее 500 м на пашне, %	0,39	<b>0,73</b>	0,27
ГТК	0,12	0,10	<b>0,81</b>
Запасы воды в снеге к началу весеннего снеготаяния, мм	-0,20	0,52	<b>0,70</b>
Доля суглинистых и глинистых почв на пашне, %	<b>0,91*</b>	0,30	0,16
Доля песчаных и супесчаных почв на пашне, %	<b>-0,98</b>	0,07	0,00
Распаханность территории, %	<b>0,87</b>	0,27	-0,09
<b>Вклад в общую дисперсию, %</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>24</b>

\*наиболее значимые факторные нагрузки (отклики)

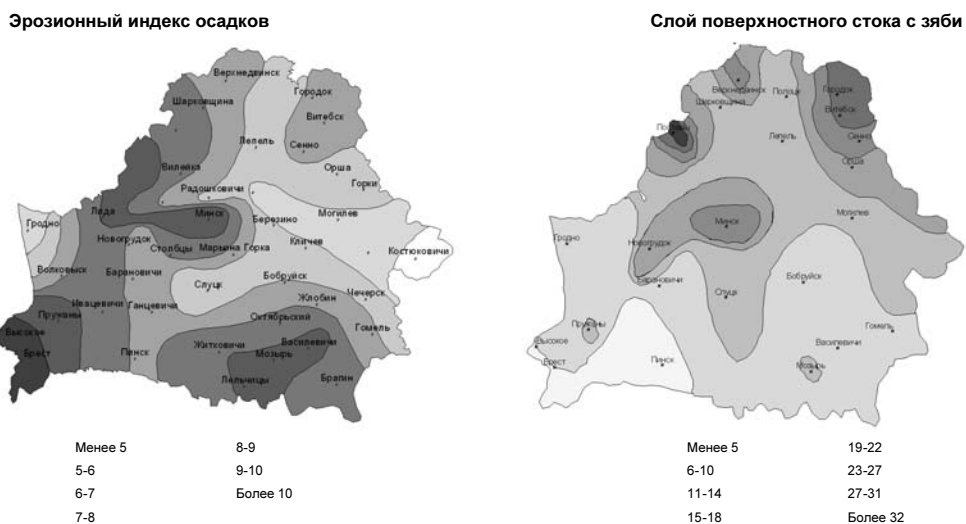
Природные условия северной провинции обусловили главенствующую роль климата и рельефа в развитии эрозии. Это объясняется тем, что данная территория является зоной избыточного увлажнения (сумма осадков колеблется от 570 до 670 мм/год). Для территории провинции также характерна высокая ин-

## Почвенные ресурсы и их рациональное использование

тенсивность склонового стока. При снеготаянии формируется наиболее сильный смыв почвы. Для данной зоны значения слоя стока с зяби колеблются от 12-15 до 25-30 мм, значения эрозионного индекса осадков 6-10 (рис. 2). Это во многом и определяет ведущим фактором климатический.



*Рис. 1.* Вклад факторов формирования эрозионных процессов в разных почвенно-экологических провинциях Беларуси в общую дисперсию



*Рис. 2.* Картограммы эрозионного индекса осадков и слоя поверхностного стока с зяби при весеннем снеготаянии

В рельефе территории преобладают моренные возвышенности и гряды с короткими (менее 300 м) и крутыми (более 30°) склонами (табл. 3). По данным про-

веденного анализа климатический и геоморфологический фактор имеют практически равное доленое участие в формировании водно-эрозионных процессов (рис. 1). Менее способствует развитию эрозии в северной провинции характер почвенного покрова и антропогенное воздействие. Данная территория имеет низкий уровень распаханности (в среднем по зоне 21,7%) и сельскохозяйственной освоенности (32,0%) [7].

Таблица 3

**Характеристика рельефа территории почвенно-экологических провинций**

Характеристика склонов	Почвенно-экологическая провинция	
	северная	центральная
Склоны с крутизной <math><3^{\circ}</math>, %	15,3	68,0
Средняя длина склонов, м	364	398
Склоны с крутизной 3-5 <sup>0</sup> , %	59,4	27,7
Средняя длина склонов, м	291	346
Склоны с крутизной >5 <sup>0</sup> , %	25,3	3,3
Средняя длина склонов, м	257	320

Для центральной провинции значение климата, как фактора формирования эрозионных процессов, менее существенная. При этом, поскольку данная территория имеет меньшую увлажненность (годовая сумма осадков колеблется от 550-600 мм на востоке, до 750 мм на Новгородской возвышенности) и невысокие значения слоя стока (5-20 мм), вклад климатического фактора в общую дисперсию составляет 24% (рис. 1). Основная нагрузка на климатический фактор принадлежит показателям запасов воды в снеге к началу весеннего снеготаяния и слою весеннего склонового стока с зяби (табл. 2) [8].

Рельеф Белорусской гряды в большей степени способствует развитию водной эрозии, нежели климат (табл. 3). Наличие склонов большой длины (более 300 м), достаточно высокое горизонтальное (0,7-0,9 км/км<sup>2</sup>) и вертикальное расчленение рельефа (12,5-20 м/км<sup>2</sup>) обусловили значительную роль геоморфологического фактора в формировании эрозии (рис. 1). Вклад геоморфологического фактора в общую дисперсию несколько выше, чем климатического (26 и 24% соответственно).

Наиболее существенное значение для развития эрозионных процессов в центральной провинции имеет почвенно-антропогенный фактор (рис. 1). Этому способствует характер преобладающих почвообразующих пород с крайне низкой устойчивостью к эрозии (лессовидные и лессовые суглинки). Для этих почвообразующих пород генетическая противозерозионная устойчивость в 1,4-1,7 раз меньше, чем у моренных суглинков. В сочетании с высокой сельскохозяйственной освоенностью (43,1%) и распаханностью (30,2%) эти два показателя играют ведущую роль при формировании водно-эрозионных процессов [9].

Моренные суглинки, широко распространенные в северной почвенно-экологической провинции, генетически более устойчивы к водной эрозии. Поэтому здесь почвенный фактор не имеет столь большого значения, как в центральной провинции.

Анализ данных, полученных в результате проведения факторного анализа для условий южной провинции, также выявил три ведущих фактора, которые ин-

терпретируются по степени влияния как фактор дефлируемости почв и дефляционного потенциала ветра, антропогенный и климатический факторы (рис. 1).

Характерной особенностью южной провинции является преобладание почв легкого гранулометрического состава и осушенных торфяных почв. По данным последнего тура почвенных обследований доля дефляционноопасных почв в составе пахотных в районах Полесья составляет от 48-50 до 85%. Наибольшее количество дефляционноопасных почв в Калинковичском (77,9%), Светлогорском (72,2%), Октябрьском (84,5%), Ивацевичском (73,1%), Лунинецком (85,1%), Малоритском (74,2%), Ганцевичском (78,7%) районах [10]. Легкие по гранулометрическому составу минеральные и осушенные торфяные почвы, а также деградированные торфяные почвы, характеризуются крайне низкой противодефляционной устойчивостью, что способствует развитию дефляционных процессов. Дефляция на минеральных почвах в условиях Беларуси начинается при скорости ветра 5-6 м/с, на осушенных торфяных – 8-9 м/с. На дерготорфяных почвах, площади которых постоянно увеличиваются, проявление дефляции отмечается при более низких скоростях ветра – 3-5 м/с. При этом повторяемость ветров со скоростью более 3 м/с составляет от 12 до 30 % всех случаев. Поскольку основные факторные нагрузки приходятся на показатели количества дефляционноопасных почв и случаев дефляционноопасных ветров, первый фактор интерпретирован как фактор дефляционного потенциала ветра и дефлируемости почв (табл. 4). Этот фактор на 35 % определяет вероятность возникновения ветровой эрозии.

*Таблица 4*

**Матрица факторного отображения для южной почвенно-экологической провинции**

Признаки	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Доля пахотных земель в составе сельскохозяйственных, %	-0,23	<b>0,92</b>	0,23
Доля осушенных земель в составе пахотных, %	0,12	<b>0,93</b>	-0,26
Доля дефляционноопасных пахотных почв, %	<b>0,87*</b>	-0,43	-0,11
Количество дефляционноопасных ветров, случаев	<b>0,95</b>	0,20	0,08
Сумма температур теплого периода, °С	-0,58	0,19	<b>0,77</b>
Сумма осадков за теплый период, мм	-0,16	0,12	<b>-0,94</b>
Вклад в общую дисперсию, %	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>27</b>

\*наиболее значимые факторные нагрузки (отклики)

Южная провинция резко отличается от остальной части республики наличием обширных заболоченных пространств, почвы которых в настоящее время осушены и используются в сельскохозяйственном производстве. Сельскохозяйственная освоенность территории провинции составляет от 30% в Житковичском, Лельчицком, Наровлянском районах, до 60-70% в Буда-Кошелевском, Каменецком, Жабинковском районах. При столь различных уровнях сельскохозяйственной освоенности доля пахотных земель в составе сельскохозяйственных почти повсеместно превышает 50%, а в ряде районов достигает 65 и более процентов (Жабинковский, Каменецкий и др.) [7]. Наличие обширных площадей

осушенных пахотных почв способствует развитию дефляции. Осушение и последующее освоение почв под пашню может рассматриваться как критерии антропогенной нагрузки. Поэтому второй фактор интерпретирован как антропогенный. Вклад в суммарную дисперсию этого фактора составляет 33%.

Условия увлажнения и температурный режим в условиях южной провинции обуславливают развитие дефляции на 27%. При достаточно выраженном влиянии этих двух показателей, климатический фактор оказывает на процесс эрозии меньшее влияние, нежели в северной провинции, но большее, чем в центральной.

## **ВЫВОДЫ**

Таким образом, влияние природных и антропогенных факторов на формирование эрозионных процессов неравнозначно в северной, центральной и южной почвенно-экологических провинциях. Это накладывает свой отпечаток на выбор и адаптацию противозерозионных мероприятий для конкретных почвенно-экологических условий.

Определяющая роль климата и рельефа в проявлении эрозии в северной провинции способствует формированию интенсивного поверхностного стока и смыва на обрабатываемых землях. Отсюда следует, что приоритетным почвозащитным приемом является перевод поверхностного стока во внутрипочвенный. Это может быть достигнуто такими агротехническими приемами, как почвоуглубление, щелевание, глубокое рыхление и др.

В центральной провинции важнейшим фактором, определяющим интенсивность эрозии, является почвенно-антропогенный (высокая сельскохозяйственная освоенность и распаханность, а также преобладание почв с низкой противозерозионной устойчивостью). В связи с этим основным направлением в проектировании противозерозионных комплексов должно быть формирование экологически обоснованной структуры посевных площадей и внедрение дифференцированных севооборотов.

Характерной особенностью южной почвенно-экологической провинции является преобладание почв с низкой противодефляционной устойчивостью, а также высокая повторяемость ветров со скоростью более 5 м/с. Исходя из этого, снижение негативного влияния дефляционных процессов должно базироваться на формировании максимального покрытия растениями в наиболее дефляционноопасные периоды. Важная роль отводится также организационно-территориальным мероприятиям (типологии земель с оценкой дефляционной опасности, подбору возделываемых культур на дефляционноопасных землях, формированию лесозащитных полос и др.), а также использованию приемов улучшения структурно-агрегатного состава легких почв.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мельничук, А.Д. Определение генетической разнородности сортов картофеля и подбор родительских пар для гибридизации по результатам факторного анализа / А.Д. Мельничук // Картофелеводство: Сб. науч. тр. – Минск: Мерлит, 2000. – Вып. 10 – С. 63-73.
2. Гмурман, В.Е. Теория вероятности и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1997. – 497 с.

3. Боровиков, В.П. Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков.- М.: Филин, 1998. – 595 с.
4. Тюрин, Ю.Н. Анализ данных на компьютере / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров – М.: Финансы и статистика, 1995. – 384 с.
5. Гайдышев, И.В. Анализ и обработка данных. Специальный справочник / И.В. Гайдышев. – Санкт-Петербург – Москва – Харьков – Минск, 2001. – 752 с.
6. Хотомцева, М.А. Полный факторный эксперимент. Построение и анализ модели с применением ЭВМ / М.А. Хотомцева, А.М. Толкач.- Могилев, 2000. – 30 с.
7. Государственный земельный кадастр Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2008г.) – Минск, 2008 – 63 с.
8. Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР / Под ред. М.А. Гольберга и В.И. Мельника. – Минск, 1985 – 450 с.
9. Дубовик, А.Э. Сравнительная оценка противозерозионной устойчивости дерново-подзолистых почв, сформированных на мощных легких лессовидных и моренных суглинках / А.Э. Дубовик, А.Ф. Черныш // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр. / Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2004. – Вып. 33 – С. 45-52.
10. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.

## **THE ESTIMATION OF FACTOR FORMING EROSION PROCESS FOR THE PLANNING AND ADAPTATION SOIL-SAVING COMPLEXES TO SOIL-ECOLOGICAL CONDITIONS OF BELARUS**

**A.F. Chernysh, A.Eh. Radziuk**

### **Summary**

The estimation of factor, forming erosion process, at the territory of northern, central and southern soil-ecological Belarusian province was showed in the article. The extent of climate influence, relief, soils and man's impact on intensive of water erosion is estimated by means of factor analysis method.

*Поступила 23 ноября 2009 г.*