

УДК 551.4 (282.256.164.6)

КОМПОНЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ ГЕОСИСТЕМ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ж.О. Озгелдинова¹ Ph.D, асс.проф., Е.Б. Усалинов², А.А. Жангужина¹ Ph.D,
Н.Е. Рамазанова¹ Ph.D, асс.проф., Ж.С. Ержанова¹, Ж.Т. Мукаев³ Ph.D, асс.проф.

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
E-mail: Ozgeldinova@mail.ru, Altyn8828@mail.ru, Nurgulram@gmail.com, Zhyzya_87@mail.ru

²Казахский агротехнический университет им. С. Сейфулина, г. Нур-Султан, Казахстан
E-mail: Erkin.usalinov@gmail.com

³Университет имени Шакарима, г. Нур-Султан, Казахстан
E-mail: Zhandos.mukaev@mail.ru

Приведены результаты выявления системообразующих факторов геосистем Павлодарской области, их иерархии на основе модели компонентного анализа, которые позволяют получить данные о структуре взаимосвязей параметров для формирования информации о современном состоянии и прогноза динамики геосистем при разработке оптимальной структуры природопользования.

С применением метода пространственной интерполяции рассмотрены отдельные количественные показатели геосистем, полученные на основе картографических материалов. В качестве исходных данных использованы численные значения следующих параметров: продолжительность солнечного сияния, радиационный баланс, среднегодовые осадки, среднегодовой речной сток, максимальный речной сток, коэффициент вариации или изменчивости годового стока, мутность, средний уклон, средняя экспозиция склона, среднее значение NDVI и т.д. В вычислении матрицы значений в геосистемах для построения компонент применена ПО «FACTOR» (программист Т.Ф. Савина по алгоритмам Л.М. Павличенко).

На основе анализа научных работ показана возможность компонентного анализа совмещать статистическое моделирование и системный анализ конкретных объектов (геосистем). Продемонстрировано применение системного анализа при построении компонентного анализа, который позволяет выделять функции геосистемы и ранжировать их по вкладу в суммарную дисперсию системы, учитывает характер взаимосвязи и самоорганизацию системы.

Ключевые слова: компонентный анализ, геосистема, главные компоненты геосистем, системообразующие факторы, системный анализ

Поступила 29.05.21

DOI: 10.54668/2789-6323-2021-102-3-36-43

ВВЕДЕНИЕ

Природные компоненты геосистем являются результатом взаимодействия различных тел, по этой причине мы имеем основание рассматривать их как начальную ступень географиче-

ской интеграции. По отношению к природным системам их компоненты рассматриваются как структурные части первого порядка, конкретнее – частями их вертикальной структуры.

Особенность географических компонентов состоит в том, что в каждом из них присутству-

ет вещество всех остальных компонентов, и это придает им новые свойства, которыми не могло бы обладать химически чистое и физически однородное вещество [8].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из методов многомерной статистики является компонентный анализ, в основу которого составляет гипотеза: измеряемые параметры исследуемого объекта или явления

являются лишь косвенными составляющими характеристиками. Исследуемому объекту наряду с измеряемыми присуща и внутренние (скрытые) не измеряемые параметры, определяемыми главными компонентами. Главная задача компонентного анализа представить известные параметры в виде линейных комбинаций главных компонентов и определить их. Данная модель компонентного анализа может быть записана в виде [1, 3], формула (1):

$$Y[n \cdot m] = F[n \cdot m] \cdot A[m \cdot m] \quad (1)$$

где $Y [n \cdot m]$ совокупность всех n наблюдаемых значений всех t параметров; $F [n \cdot m]$ – матрица, включающая совокупность всех n получаемых значений всех t главных компонент; $A [m \cdot m]$ – матрица компонентных нагрузок, которая является связующим звеном между старыми (известными) и новыми переменными.

Полученные главные компоненты характеризуют не просто сумму параметров, они являются результатом взаимодействия исследуемых параметров. Интерпретация полученных результатов (главных компонент) характеризуется в выявлении и анализе общих причин.

Исходным материалом для выявления главных компонент нами были изучены фондовые материалы геоморфологических, гидрогеологических, почвенных исследований, данные метеослужб, картографический материал. На основе собранных материалов [4] с применением метода пространственной интерполяции выполнена серия карт, характеризующих отдельные количественные показатели геосистем, и в качестве исходных данных использованы численные значения следующих параметров: продолжительность солнечного сияния, радиационный баланс, среднегодовые осадки, среднегодовой речной сток, максимальный речной сток, коэффициент вариации или изменчивости годового стока, мутность, средний уклон, средняя экспозиция склона, среднее значение NDVI и т.д.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе картографических материалов, с применением метода пространственной интерполяции получены отдельные количественные показатели геосистем, и в качестве исходных данных использованы численные значения сле-

дующих параметров: продолжительность солнечного сияния (SunHrs), радиационный баланс (RadBal), среднегодовые осадки (PrecYrAvg), среднегодовой речной сток (RivFlow/YrAvg), максимальный речной сток (RivFlow/Max), коэффициент вариации или изменчивости годового стока (RivFlow/Var), мутность (WaterTrb), средний уклон (Slope), средняя экспозиция склона (Aspect), среднее значение NDVI (Ndvi) и т.д. Для построения главных компонент в геосистемах региона исследования применена ПО «FACTOR» (программист Т.Ф. Савина по алгоритмам Л.М. Павличенко).

Результаты обработки измеряемых параметров, матрица главных компонент отражены в таблице 1. Выделилось 11 главных компонент (ГК), описывающих 100 % общей дисперсии. Графики изменения значений четырех главных компонент представлены на рисунках 1 и 2. Полученные значения компонент имеют как положительные так и отрицательные значения. Различия в знаках означает не разную направленность исследуемых показателей, а разную степень его проявления [2].

При анализе таблицы 1 мы выяснили следующую закономерность: по мере увеличения номера компоненты количество статистически значимых нагрузок уменьшается, что проявляется через уменьшение вклада компоненты в суммарную депрессию.

Ниже представлена запись вида компонент через сочетание характеристик геосистем при учете только статистически значимых нагрузок:

ГК 1 (34%): + [SunHrs, RadBal, Slope, PrecYrAvg, RivFlow/Max, RivFlow/YrAvg, Aspect, WaterTrb], – [RivFlow/Var, Ndvi];

ГК 2 (18%): + [WaterTrb, RivFlow/YrAvg, RivFlow/Var, RadBal, Slope, SunHrs, Ndvi], –

[PrecYrAvg, RivFlow/Max, Aspect];

ГК 3 (12%): + [RivFlow/Max, RivFlow/YrAvg, Aspect], – [PrecYrAvg, Slope, WaterTrb, Ndvi, SunHrs, RivFlow/Var];

ГК 4 (11%): + [Ndvi, Slope, Aspect, PrecYrAvg, RivFlow/YrAvg, RivFlow/Max, WaterTrb], – [RivFlow/Var, RadBal, SunHrs];

ГК 5 (9%): + [Aspect, SunHrs, RivFlow/Var, RadBal, WaterTrb],

– [RivFlow/Max, Ndvi, RivFlow/YrAvg, PrecYrAvg, Slope];

ГК 6 (7%): + [RadBal, SunHrs, Slope, RivFlow/Var], – [Aspect, WaterTrb, RivFlow/YrAvg, PrecYrAvg, Ndvi, RivFlow/YrAvg];

ГК 7 (4%): + [PrecYrAvg, WaterTrb, RivFlow/YrAvg, RivFlow/Max],

– [Slope, Ndvi, RadBal, RivFlow/Var, Aspect, SunHrs].

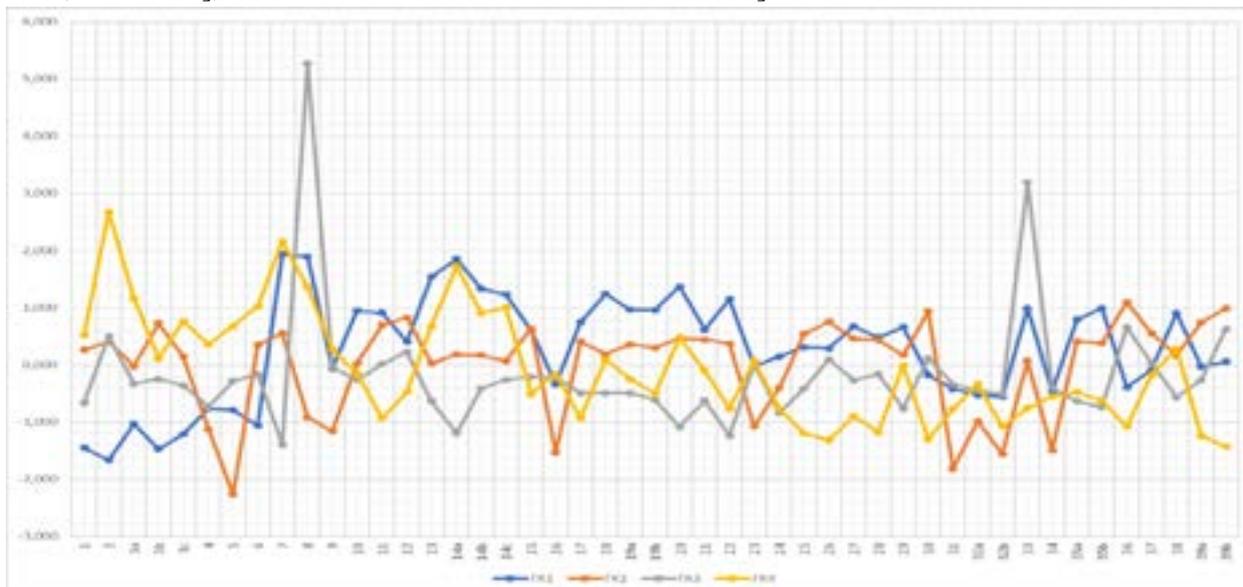


Рис. 1. График изменения значений главных компонент для геосистем 1...39.

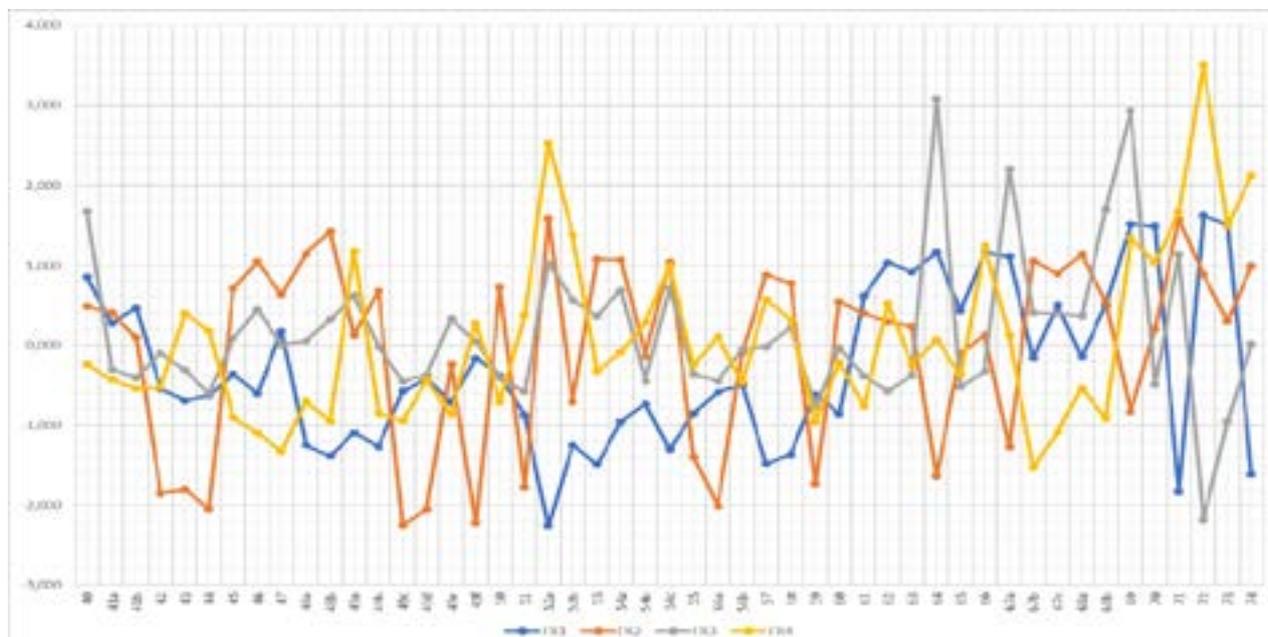


Рис. 2. График изменения значений главных компонент для геосистем 40...74.

Противоположность знаков нагрузок на исходные переменные свидетельствует о разнонаправленности воздействия изучаемого показателя на геосистемы, выделившихся в одну компоненту. Интерпретация полученных результатов базируются на детальном изучении и

сопоставлении показателей геосистем, выделившихся в различных соотношениях и, в первую очередь, выявлении наиболее общих признаков сходства между ними, при этом использовались общегеографические закономерности формирования геосистем.

Таблица 1

Матрица нагрузок главных компонент

Показатели геосистем	Компонентные нагрузки										
	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4	ГК5	ГК6	ГК7	ГК8	ГК9	ГК10	ГК11
SunHrs	00,9176	00,1656	-0,0922	-0,0981	00,1671	00,1984	-0,0195	-0,1202	00,1128	-0,0181	00,1314
RadBal	00,8542	00,2282	0,1056	-0,1479	00,1140	00,3200	-0,1641	00,0350	00,1661	00,0523	-0,1069
PrecYrAvg	00,5602	-0,4064	-0,4516	00,2903	-0,1570	-0,1208	00,3834	00,1700	00,1121	00,0708	-0,0038
RivFlow/ YrAvg	00,2923	00,7694	0,3600	0,1936	-0,2392	-0,1533	00,1691	00,1214	00,0571	-0,1680	-0,0050
RivFlow/Max	00,3305	-0,1928	0,8475	00,1337	-0,3022	-0,0209	00,0120	00,0291	-0,0417	00,1478	00,0337
RivFlow/Var	-0,7294	00,5182	-0,0827	-0,2184	0,1238	00,0314	-0,1083	00,3123	00,0850	00,0981	00,0504
WaterTrb	00,1437	00,8877	-0,1934	00,0120	0,0878	-0,2173	00,1861	-0,1905	-0,0919	00,1380	-0,0197
Slope	00,6964	00,1687	-0,3149	00,4528	-0,1039	00,0929	-0,2988	00,1494	-0,2265	00,0011	00,0090
Aspect	00,1614	-0,1454	0,2543	00,4145	0,7481	-0,3853	-0,0711	00,0406	0,0397	-0,0030	-0,0040
Ndvi	-0,5728	00,1265	-0,1316	00,6586	-0,2986	-0,0227	-0,2326	-0,1474	0,1960	00,0294	0,0058

На основе полученных данных была создана карта главных компонент геосистем Павлодарской области. Карта приведена на рисунке 3.

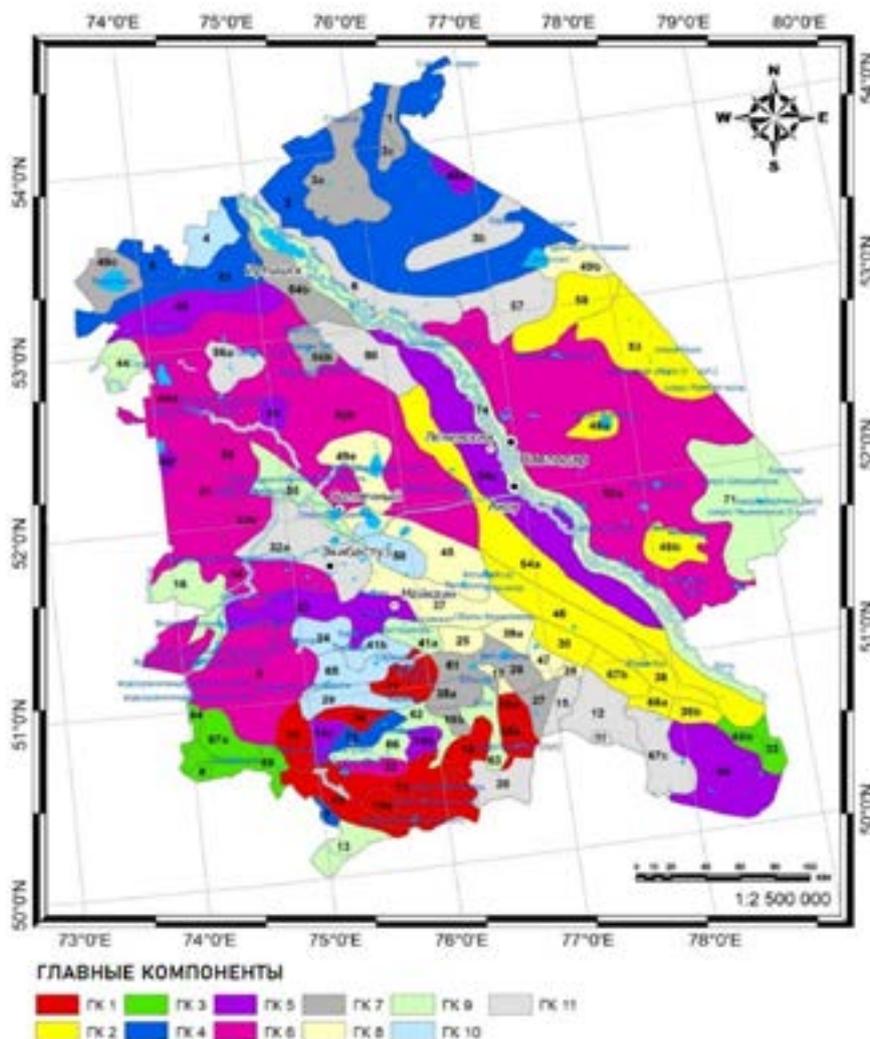


Рис.3. Карта главных компонент геосистем Павлодарской области.

ОБСУЖДЕНИЕ

ГК 1 преимущественно является главной компонентой для денудационных и тектонически-денудационных равнин на юго-западе Павлодарской области. ГК 2 является по большей части главной компонентой геосистем левобережья реки Ертыс вдоль её верхнего течения. Эти геосистемы в основном представлены озерно-аллювиальными аккумулятивными равнинами. На юго-западе и юге исследуемого региона имеются скопления находящихся по соседству относительно друг друга геосистем, где главная компонента – это ГК 3. В основном представлены делювиально-пролювиальными равнинами. На севере озёрно-аллювиальные аккумулятивные равнины представлены с главной компонентой ГК 4. Кроме них, ГК 4 является главной компонентой для Баянаульского низкогорья и для увалисто-холмистой равнины в юго-западной части области. Ландшафты с главной компонентой ГК 5 равномерно распределены по территории региона, они в равной степени представлены аккумулятивными и денудационными равнинами. ГК 6 является главной компонентой небольшого количества ландшафтов, однако они занимают большую площадь относительно ландшафтов с другими ГК. Эти ландшафты в равной степени представлены озёрно-аллювиальными аккумулятивными и цокольными денудационными равнинами. ГК 7 оказывает наибольшее влияние на разрозненные ландшафты в северной части области. В большинстве случаев ландшафты представлены холмистыми денудационными равнинами. Ландшафты, испытывающие наибольшее влияние от ГК 8 расположены группой рядом расположенных геосистем в центральной части области на левобережье реки Ертыс.

Проведем анализ ГК 1, на который приходится 34 % суммарной дисперсии. Из введенного набора показателей с большими положительными нагрузками выделились следующие показатели геосистем: SunHrs, RadBal, Slope, PrecYrAvg, RivFlow/Max, RivFlow/YrAvg, Aspect, WaterTrb. Следовательно, значения первой главной компоненты будут больше в тех геосистемах, где имеются повышенные по отношению к среднему значения всех этих характеристик. В совокупности данные показатели с высокими положительными нагрузками характеризуют основные факторы формирования и

дифференциаций геосистем – геолого-геоморфологический и климатический. В условиях континентального и резкоконтинентального климата, при разновысотном, местами дробно расчлененном рельефе, литологической пестроты почвообразующих, нередко достаточно засоленных, сложилась своеобразная ландшафтная структура геосистем Павлодарской области. Из физико-географического описания территории следует, что среднегодовое количество атмосферных осадков имеет в разных зонах разный диапазон колебаний. Так, на востоке области осадки составляют 250...270 мм, на севере держатся в районе 300 мм, а на юго-востоке составляют 300...330 мм. Продолжительность солнечного сияния зависит от широты местности, времени года и условий облачности; в течение года продолжительность солнечного сияния относительно более длительна на юге, юго-западе и западе области, где максимально достигает 2652 часов в год. На северо-востоке и востоке исследуемого региона, напротив, продолжительность солнечного сияния достаточно низкая колеблясь от 2437 до 2478 часов. Такая же дисперсия наблюдается и в показателях радиационного баланса. Единственное отличие от распределения продолжительности солнечного сияния заключается в более ярко выраженном уменьшении показателей на севере области. Слой стока определяется сочетанием атмосферных осадков и уклонов поверхности, поэтому его значения выше в геосистемах с большей средней высотой.

С высокими по модулю отрицательными нагрузками в ГК 1 выделились следующие показатели – RivFlow/Var, NdvI. Поскольку знак нагрузок этих показателей отрицательный, рост значений ГК 1 будет наблюдаться при уменьшении их значений. Наблюдается закономерность, при которой на территориях ландшафтов, где главная компонента – ГК 1 с повышением количества часов солнечного сияния, а так радиационного баланса (которые являются основными положительными параметрами ГК 1) понижается значение коэффициента NDVI. Это также связано с низким количеством осадков, которые как параметр имеют меньшее, но все же положительное влияние в этой главной компоненте. Вследствие, повышение величины NDVI также коррелирует с уменьшением влияния ГК 1. Вегетативный индекс выше на восточной половине территории Павлодарской области и в пой-

менном ландшафте, то есть в геосистемах, где влияние ГК 1 низко относительно геосистем в других частях региона. Коэффициент вариации стока уменьшается на равнинных территориях, а также на территориях, покрытых хорошо поглощающими воду породами и это, также обуславливает расположение геосистем под влиянием ГК 1 на юго-западе области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя вышесказанное, можно сделать вывод, что компонентный анализ совмещает возможности статистического моделирования и системного анализа конкретных объектов (геосистем). Системный анализ при построении компонентного анализа позволяет выделять функции геосистемы и ранжировать их по вкладу в суммарную дисперсию системы, учитывает характер взаимосвязи и самоорганизацию системы. Основным результатом модели является не только выявление функции системы (системообразующих факторов) на основе интерпретации системы взаимосвязей исходных признаков, но и территории по интенсивности проявления этой функции [6].

Таким образом, компонентный анализ позволяет выявлять взаимосвязи в системе, исследовать структуру взаимосвязей, ранжировать процессы по степени влияния на формирование состояния геосистемы [7, 8].

Полученные результаты о структуре взаимосвязей параметров геосистем на основе компонентного анализа являются дополнительной информацией для оценки современного состояния и прогноза динамики природных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андерсон Т.* Введение в многомерный статистический анализ. – М.: ГИФМЛ, 1963. – 500 с.
2. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 417 с.
3. *Йёреског К.Г., Клован Д.И., Реймент Р.А.*

Геологический факторный анализ. – Л.: Недра, 1980. – 223 с.

4. *Национальный Атлас Республики Казахстан / под ред. А.Р. Медеу и др.* – Алматы, 2010. – Т. 1. – 150 с.

5. *Павличенко Л.М.* К технологии построения моделей прогноза изменений экогеосистем // *Гидрометеорология и экология.* – 2000. – №1. – С. 37-60.

6. *Павличенко Л.М.* Многомерные статистические модели в геоэкологии. – Алматы: ProService LTD, 2007. – 173 с.

7. *Павличенко Л.М.* Системное моделирование природно-технических геосистем // В кн.: *Новые подходы и методы в изучении природных и природно-хозяйственных систем.* – Алматы: Қазақ университеті, 2000. – С. 132-135.

8. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука СО, 1978. – 319 с.

REFERENCES

1. *Anderson T.* Vvedenie v mnogomernyi statisticheskii analiz. – M.: GIFML, 1963. – 500 s.
2. *Bolşev L.N., Smirnov N.V.* Tablisy matematicheskoi statistiki. – M.: Nauka, 1983. – 417 s.
3. *Ïereskog K.G., Klován D.Í., Reiment R.A.* Geologicheskii faktornyi analiz. – L.: Nedra, 1980. – 223 s.
4. *Nasionalnyi Atlas Respubliki Kazahstan / pod red. A.R. Medeu i dr.* – Almaty, 2010. – T. 1. – 150 s.
5. *Pavlichenko L.M.* Mnogomernye statisticheskie modeli v geokologii. – Almaty: ProService LTD, 2007. – 173 s.
6. *Pavlichenko L.M.* Sistemnoe modelirovanie prirodno-tehnicheskikh geosistem // V kn.: *Novye podhody i metody v izuchenii prirodnyh i prirodno-hozjajstvennyh sistem.* – Almaty: Qazaq universiteti, 2000. – S. 132-135.
7. *Pavlichenko L.M.* K tehnologii postroeniya modelei prognoza izmenenii ekogeosistem // *Gidrometeorologiya i ekologiya.* – 2000. – №1. – S. 37-60.
8. *Sochava V.B.* Vvedenie v uchenie o geosistemah. — Novosibirsk: Nauka SO, 1978. – 319 s.

**ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНЫҢ ГЕОЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖҮЙЕ ҚҰРАУШЫ ФАКТОРЛАРЫНА
КОМПОНЕНТТІК ТАЛДАУ**

**Ж.О. Озгелдинова¹ Ph.D, қауым.проф., Е.Б. Усалинов², А.А. Жангужина¹ Ph.D,
Н.Е. Рамазанова¹ Ph.D, қауым.проф., Ж.С. Ержанова¹, Ж.Т. Мукаев³ Ph.D, қауым.проф.**

*¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан
E-mail: Ozgeldinova@mail.ru, Altyn8828@mail.ru, Nurgulram@gmail.com, Zhyzya_87@mail.ru*

*²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан
E-mail: Erkin.usalinov@gmail.com*

*³Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., Қазақстан
E-mail: Zhandos.mukaev@mail.ru*

Табиғатты пайдаланудың оңтайлы құрылымын әзірлеу кезінде геожүйелердің қазіргі жай-күйі туралы ақпаратты қалыптастыру және геожүйелердің динамикасын болжау үшін параметрлердің өзара байланысының құрылымы туралы деректерді алуға мүмкіндік беретін компоненттік талдау моделі негізінде геожүйелер мен Павлодар облысының жүйе құраушы факторларын анықтау нәтижелері келтірілген.

Кеңістіктік интерполяция әдісін қолдана отырып, картографиялық материалдар негізінде алынған геожүйелердің жеке сандық көрсеткіштері қарастырылды және бастапқы деректер ретінде келесі параметрлердің сандық мәндері пайдаланылды: күн сәулесінің ұзақтығы, радиациялық тепе-теңдік, орташа жылдық жауын-шашын, орташа жылдық өзен ағыны, максималды өзен ағыны, жылдық ағынның өзгеру немесе өзгергіштік коэффициенті, бұлдырлық, орташа көлбеу, көлбеу орташа экспозиция, NDVI орташа мәні және т. б.. Геожүйелердегі мән матрицасын есептеу кезінде компонентті құру үшін "FACTOR" (л.м. Павличенко алгоритмдері бойынша бағдарламашы т. ф. Савина) қолданылады.

Ғылыми жұмыстарды талдау негізінде статистикалық модельдеу мен нақты объектілерді (геожүйелерді) жүйелік талдауды біріктіру үшін компоненттік талдау мүмкіндігі көрсетілген. Жүйелік талдауды компоненттік талдауды құру кезінде қолдану көрсетілді, бұл Геожүйенің функцияларын бөлуге және оларды жүйенің жалпы дисперсиясына қосқан үлесі бойынша саралауға мүмкіндік береді, жүйенің өзара байланысының сипаты мен өзін-өзі ұйымдастыруын ескереді.

Түйін сөздер: компоненттік талдау, геожүйе, геожүйелердің негізгі компоненттері, жүйені құрайтын факторлар, жүйелік талдау

COMPONENT ANALYSIS SYSTEM-FORMING FACTORS OF GEOSYSTEMS OF PAVLODAR REGION

Zh.O. Ozgeldinova¹ Ph.D, assoc.prof., **E.B. Usalinov**², **A.A. Zhanguzhina**¹ Ph.D,
N.E. Ramazanova¹ Ph.D, assoc.prof., **Zh.S.Yerzhanova**¹, **Zh.T.Mukaev**³ Ph.D, assoc.prof.

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

E-mail: Ozgeldinova@mail.ru, Altyn8828@mail.ru, Nurgulram@gmail.com, Zhyzya_87@mail.ru

²*S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

E-mail: Erkin.usalinov@gmail.com

³*Shakarim University, Semey, Kazakhstan*

E-mail: Zhandos.mukaev@mail.ru

The article presents the results of identifying the system-forming factors of geosystems and their hierarchy in the Pavlodar region on the basis of the component analysis model, which allow us to obtain data on the structure of the relationships of parameters for the formation of information about the current state and forecast of the dynamics of geosystems in the development of the optimal structure of nature management.

Separate quantitative indicators of geosystems obtained on the basis of cartographic materials, using the spatial interpolation method, are considered, and numerical values of the following parameters are used as initial data: duration of sunshine, radiation balance, average annual precipitation, average annual river runoff, maximum river runoff, coefficient of variation or variability of annual runoff, turbidity, average slope, average slope exposure, average NDVI value, etc.. In the calculation of the value matrix in geosystems, the "FACTOR" software is used to build components (programmer T. F. Savina on algorithms of L. M. Pavlichenko).

Based on the analysis of scientific papers, the possibility of component analysis to combine statistical modeling and system analysis of specific objects (geosystems) is shown. The use of system analysis in the construction of component analysis is demonstrated, which allows you to identify the functions of the geosystem and rank them by their contribution to the total variance of the system, taking into account the nature of the relationship and self-organization of the system.

Keywords: component analysis, geosystem, main components of geosystems, system-forming factors, system analysis