

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 44–48  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.08>

#### Research of saline runoff for smaller rivers in the Upper Kama deposit of potassium-magnesium salts

##### Information about author

A. O. Vorobiova<sup>1</sup>, Senior Researcher

A. S. Makashova<sup>1</sup>, Researcher, [al.makashova@gmail.com](mailto:al.makashova@gmail.com)

T. I. Prokofieva<sup>2</sup>, Associate Professor, Candidate of Geographic Sciences

<sup>1</sup> VNII Galurgy Stock Co., St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

##### Abstract

In small rivers of Kama river basin which are in the zone of potential influence from industrial facilities of potash production for nearly 20 years already are being made regular hydrological observations. They involve measuring of water flow rates and hydro-chemical testing. The weak point in the existing observation system over water and hydro-chemical modes (regimes) of surface watercourses is the insufficient (four times a year) periodicity of the observations. At the same time the available database of accumulated hydrological information and long-term experience in its use and analysis enabled us to solve a number of specific problems related to assessment of environmental condition of rivers and brooks, finding of sources for anthropogenic feeding, establishing of trends in changing of hydro-chemical mode of watercourses, calculations of saline balance for particular areas of rivers to evaluate volumes of anthropogenic brines incoming into them.

This paper gives short presentation of results for some applied research conducted in recent years in the basins of several rivers, as well as justifies the techniques and methods for processing of hydrological information that enabled to significantly increase the informative value of data about the flow rates of river water and its chemical composition received during the standard (four regular) observations. In particular, here are shown the results received on the relationships between mineralization and water flow rates, as well as migration curves of macro-component composition for river water(s). Submitted materials may be useful and interesting, first of all, insofar as it refers to the methodology of using limited initial data about water and hydro-chemical modes (regimes) of small rivers for evaluation of their environmental condition (state) and solving some applied problems.

**Keywords:** Situation observing network, hydrological posts, surface watercourses, hydro-chemical mode, sludge storage, migration curves, saline run-off

##### References

1. Rollin Jerome. La protection des petites rivières periurbaines dans les Bouches-du-Rhone depuis les années 1960: une analyse de la construction locale de la norme environnementale. *Geocarrefour*. 2010. Vol. 85, No. 3. pp. 229–240.
2. Ormerod S. J., Gee A. S. Chemical and ecological evidence on the acidification of Wells lakes and rivers. *Acid Water Wales*. Editors: R. W. Edwards, A. S. Gee, J. H. Stoner. 1990. Vol. 66. pp. 11–25.
3. Kuramshin E. M., Imashev U. B., Kuramshina N. G., Nurtedinova E. E. *Gidrokimiya malykh rek Kamskogo basseina v zone vliyaniya obektov nefte dobychi* (Hydrochemistry of small rivers in Kama river basin in the zone of influence of petroleum production facilities). *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal = Bashkir Chemical Journal*. 2014. Vol. 21, No. 2. pp. 88–93.
4. Kitaev A. B. *Kachestvo vody malykh rek goroda Permi* (Water quality in small rivers of Perm). *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern High Technologies*. 2010. No. 10. pp. 215–217.
5. Brezonik P., Arnold W. *Water Chemistry: An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic Systems*. Oxford University Press, 2011. 809 p.
6. Trinh D. H., Chul F. M. Assessing the hidrologie restoration of an urbanised area via an integrated distributed hydrological model. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2013. Vol. 17, Iss. 12. pp. 4789–4801. doi:10.5194/hess-17-4789-2013
7. Skeffington R. A., Halliday S. J., Wade A. J., Bowes M. J., Loewenthal M. Using high-frequency water quality data to assess sampling strategies for the EU Water Framework directive. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2015. Vol. 19, Iss. 5. pp. 2491–2504. doi:10.5194/hess-19-2491-2015
8. Still T. D. Data and information aspect of modeling. *Proceedings IUFRO Workshop on Water and Nutrient Simulation Models*. Swiss Federal Institute of Forestry Research, Birmensdorf, 1979. No. 1. pp. 21–28.
9. Lipnitskiy V. K., Kopshtalev V. P., Prokofeva T. I., Alekseev V. N., Sandakov V. T., Peresada V. I. *Ekologicheskiy monitoring prirodnykh vod pri skladirovanii otkhodov kaliynogo proizvodstva na Verkhnekamskom mestorozhdenii* (Environmental monitoring of natural waters during the storage of potassium production wastes at the Upper Kama deposit). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnykh soley : sbornik trudov VNII Galurgii* (Urgent problems in mining and processing of natural salts : Proceedings of VNIIG). Saint Petersburg : Lik, 2001. Vol. 1. pp. 115–123.
10. *CH 371-67. Ukazaniya po opredeleniyu rashchetnykh velichin godovogo stoka i ego vnutrigodovogo raspredeleniya* (CH 371-67. Guidelines for determination of design values for annual run-off and its intra-annual distribution). Leningrad : Gidrometeoizdat, 1968. (in Russian)
11. Brodskaya N. A., Vinograd N. A., Vorobeva A. O., Pavlov A. N., Prokofeva T. I., Sapachev R. Yu., Trofimov V. I. *Osobennosti ekologicheskogo monitoringa dlya territoriy s povyshennoy tekhnogennoy nagruzkoy* (Peculiarities in environmental monitoring at the territories with increased anthropogenic impact). Saint Petersburg : Publishing House of Russian State Hydrometeorological University, 2009. 272 p.
12. *Gidrogeologiya SSSR* (Hydrogeology of the USSR). Tom IV: Ural (Volume IV: Ural). Moscow : Nedra, 1972. pp. 80–87. (in Russian)
13. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* (Resources of surface waters in the USSR). Tom 11: Sredniy Ural i Priural (Vol. 11. Middle Urals and Transurals). Leningrad : Gidrometeoizdat, 1973. (in Russian)
14. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke odnorodnosti gidrologicheskikh kharakteristik i opredeleniyu ikh rashchetnykh znacheniy po neodnorodnym dannym* (Methodological recommendations on uniformity assessment in hydrological characteristics and determination of their design values by non-uniform data). Saint Petersburg : Publishing House "Nestor-Istoriya", 2010. 162 p. (in Russian)
15. Kovalenko S. N. *Regulirovanie vodnogo i biogennoy balansu malykh rek pri osvoenii vodobora : avtoreferat dissertatsii ... doktora tekhnicheskikh nauk* (Regulation of water and biogenous balance of small rivers at water collection mastering : thesis of inauguration of Dissertation ... of Doctor of Engineering Sciences). Saint Petersburg, 2011. 36 p.
16. Lawrence K. Assessment of Key Processes Affecting Vertical Transport of Brines in Low Permeability Till Beneath the potassium Salt Piles. *GeoConvention (Canada)*. 2010. No. 5. pp. 12–18.
17. Makashov S. E. *Ustanovlenie zakonomernostey filtratsii rassolov dlya resheniya problem zagryazneniya prirodnykh vod na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliynykh soley : avtoreferat dissertatsii ... kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk* (Establishing the regularities in brine filtration for solving the problems of natural water contamination at the Upper Kama deposit of potassium salts : thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Geological-Mineralogical Sciences). Saint Petersburg, 2012. 20 p.

УДК 553.632 (471.503)

## О ВОЗМОЖНОМ ПОДХОДЕ К ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМАТИЗАЦИИ НАДСОЛЕВОЙ ТОЛЩИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ



**A. С. СЕННОВ**,  
старший научный сотрудник,  
канд. геол.-минерал. наук,  
АО «ВНИИ Галургии»,  
Санкт-Петербург, Россия,  
[sennov.andrew@yandex.ru](mailto:sennov.andrew@yandex.ru)

### Введение

Идея использования методов многомерной статистики в гидрогеологии не нова. Так, в монографии [1] приводятся примеры их применения при исследовании режима подземных вод, выявлении фильтрационной и гидрогеохимической неоднородности, распре-

В условиях сложного геологического строения породного массива и крайней неоднородности его водно-физических свойств гидрогеодинамическая схематизация, как правило, вызывает трудности, для преодоления которых можно использовать многомерные статистические методы. Приводится пример обработки массива данных с помощью факторного анализа. Отбор исходных данных осуществляется с использованием ГИС-технологий.

**Ключевые слова:** гидрогеодинамическая схематизация, многомерные статистические методы, факторный анализ, метод главных компонент, гидрогеодинамическое моделирование, геоинформационные системы.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.09>

© Сеннов А. С., 2016

лении водообильности и т. д. При исследовании загрязнения подземных вод применялось моделирование структурными уравнениями [2] и факторный анализ [3], который также использовался при геохимическом районировании [4], управлении водными ресурсами [5]. В последнее время для этих целей все чаще используют ГИС-технологии [6–10].

Современные гидрогеологические исследования невозможны без применения математического моделирования. Обязательной начальной стадией любого такого моделирования является гидрогеодинамическая схематизация водоносных горизонтов. В сложных геолого-гидрогеологических условиях такая схематизация вызывает определенные трудности. Для их преодоления возможно использование многомерных статистических методов. Ниже рассматривается пример их применения для зоны активного водообмена Верхнекамского месторождения калийных солей (ВМКМС).

### Основная часть

В процессе эксплуатации месторождения приходится решать проблемы, связанные с подземными водами: охрана водной среды, которая загрязняется отходами производств, прорывы воды в рудники и др. Их решение невозможно без применения математического моделирования.

Гидрогеологический разрез зоны активного водообмена ВМКМС представлен водоносными горизонтами в четвертичных отложениях, а также водами, связанными с шешминской и соликамской свитами. Сверху вниз по разрезу обычно выделяют грунтовый водоносный горизонт и несколько напорных. Питание всей зоны активного водообмена осуществляется за счет инфильтрации, а участки появления напора связаны с литологическими особенностями отложений. Обычно полагают [11–13], что грунтовый водоносный горизонт приурочен либо к четвертичным, либо к шешминским отложениям (пестроцветная толща, ПТ), напорные — к отложениям соликамской свиты. В залегающих ниже слоях чаще всего выделяют верхне-соликамский (терригенно-карбонатная толща, ТКТ) и нижне-соликамский (соляно-мергельная толща, СМТ) горизонты. Все эти подразделения довольно условны в силу крайней неоднородности фильтрационных свойств отложений в плане и разрезе. Так, по данным геолого-гидрогеологических съемок водопроницаемость ТКТ по результатам откачек меняется от долей целых до более чем  $5000 \text{ м}^2/\text{сут}$ . Такой разброс значений скорее всего связан с различными системами трещиноватости, в свою очередь обусловленными соляной тектоникой.

Таким образом, литологически надсолевая толща представляет собой известково-терригенные отложения близкого генезиса, разбитые сложной системой трещин. Гидравлически это единая толща, и поэтому выделить в ней отдельные водоносные горизонты достаточно сложно. Большой массив исходных данных по скважинам, на первый взгляд, позволяет детально проанализировать гидродинамическую структуру потоков подземных вод и провести *геофильтрационную схематизацию*. Тем не менее в практической работе возникают сложности. Причин в основном две. Во-первых, упоминая уже фильтрационная неоднородность приводит к резким изменениям напоров. В результате в близко расположенных скважинах уров-

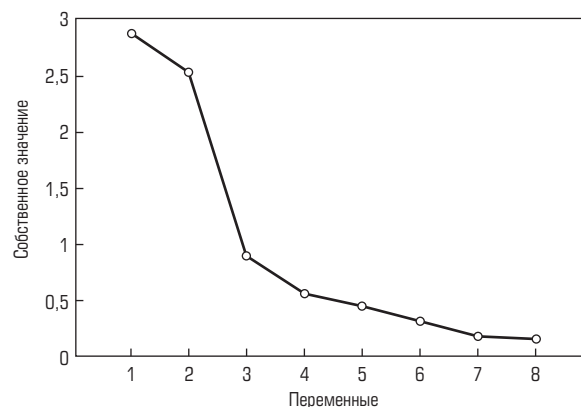


Рис. 1. Изменение собственных значений параметров

ни одного горизонта могут сильно отличаться. Во-вторых, на уровни оказывает сильное влияние рельеф. Так, если без разделения на отдельные горизонты посчитать для всех имеющихся скважин коэффициент корреляции уровня воды и отметки устья, получим  $R = 0,73$ . Очевидно, что если учитывать уровень только грунтового горизонта, значение коэффициента возрастет.

Для решения конкретной задачи по распространению загрязнения в подземных водах геофильтрационная схематизация была проведена с использованием факторного анализа [14]. Основной смысл факторного анализа состоит в уменьшении размерности массива исходных данных для того, чтобы перейти от множества начальных переменных к существенно меньшему числу новых переменных — факторов. При этом фактор интерпретируется как причина совместной изменчивости нескольких переменных. Технически выделение факторов осуществляется путем анализа корреляций между переменными.

Исходным массивом данных являлись разрезы скважин, попавших в пределы водосборной площади рек Усолка и Лёнва. Это левые притоки р. Камы в районе г. Березники. Выборка осуществлялась с помощью геоинформационной системы (ГИС) Quantum GIS [15]. Далее анализировались отметки устья, скважин (долгота  $X$  и широта  $Y$ ) кровли ПТ, ТКТ, СМТ, ПКС («покровная каменная соль»), а также уровня подземных вод (УПВ). Использована программа IBM SPSS Statistics версии 20 [16].

Статистическая гипотеза состояла в том, что для исходного массива переменных факторами являются водоносные горизонты. Анализ матрицы коэффициентов парных корреляций Пирсона показал высокую корреляцию отметок кровли ТКТ, СМТ и ПКС, что с геологической точки зрения вполне объяснимо и показывает ненужность использования всех трех переменных в дальнейших исследованиях, так как достаточно одной. Анализируя корреляции для УПВ видим, что наиболее тесно он связан с кровлей ПТ (0,716) а также рельефом местности (0,636).

График собственных значений для переменных представлен на рис. 1. Собственное значение, деленное на число переменных, есть доля дисперсии, которую объясняет данная переменная. Формально, исходя из критерия Кайзера, следует признать значимыми два фактора, значения которых больше единицы (первые два — 2,88 и



**Рис. 2. Уровневая поверхность первого напорного горизонта**

2,536). Тем не менее значение третьего фактора (0,892) лишь незначительно меньше единицы, поэтому допустимо также признать значимым и его.

Установлено, что на третий фактор, в случае его учета, приходится 11,2 % дисперсии, и в этом случае объясненная дисперсия достигает 78,9 %. С этой точки зрения, выбор трех факторов вместо двух представляется предпочтительным.

Но в основу выбора все-таки должна быть положена интерпретация факторов [14]. Так, из анализа факторных нагрузок после вращения осей с целью максимизации дисперсии доли двух факторов следует, что первый фактор в большей степени связан с отметками кровли ТКТ, СМТ и ПКС, а также с  $Y$ -координатой; второй фактор связан с уровнем воды, ПТ и  $X$ -координатой. Дисперсионный анализ (ANOVA) подтверждает очень высокую достоверность различия двух выделенных факторов. Учитывая, что среднее значение УПВ по выборке с первым фактором 123,9 м, а со вторым — 158,9, можно однозначно интерпретировать второй фактор как грунтовый горизонт, а первый — как напорный. Из исходных 457 анализируемых точек к грунтовому горизонту относятся 182, а к напорному — 275.

Не приводя в целом корреляционные матрицы по выборкам, отметим, что коэффициент корреляции  $R$  УПВ с остальными переменными тоже подтверждает эти выводы. Так, для «грунтовой» выборки корреляционная связь с рельефом возросла с 0,64 до 0,72, а с  $X$ -координатой снизилась с 0,53 до 0,27. Наоборот, для «напорной» выборки связь уровня с рельефом ослабла (0,58 вместо 0,64), уменьшилась также связь с кровлей ПТ (0,4 вместо 0,7), зато появилась значимая положительная связь с кровлей ТКТ ( $R = 0,58$ ).

Для принятия окончательного решения по выбору гидродинамической схемы потока необходимо проанализировать также трехфак-

торную схему. На это указывают как проценты объясненной дисперсии и собственные значения, так и гидрогеологические данные, указывающие на наличие второго напорного горизонта.

Анализ факторных нагрузок после вращения «варимакс», безусловно, указывает на то, что один из факторов — это грунтовый водоносный горизонт. Основные нагрузки у него приходятся на УПВ и рельеф. Интерпретация этого фактора очевидна и подтверждается самым высоким из трех выборок значением среднего уровня воды (142,3). По сравнению с двухфакторной выборкой его размер уменьшился на 25 наблюдений — со 182 до 157. Заметно возросла связь уровня с рельефом — 0,86 вместо 0,72 — у двухкомпонентной выборки и 0,64 — у исходной. Также увеличились связи с координатами: положительная — с долготой и отрицательная — с широтой, что легко объясняется структурой потока.

Сложнее интерпретировать оставшиеся два фактора. Один из них связан с кровлей ТКТ и ПТ, другой зависит только от долготы. По значениям среднего уровня первый фактор больше второго — 137,3 против 134,4. Логично предположить, что это верхний напорный горизонт. Если второй фактор — это нижний напорный горизонт, обычно связанный с СМТ, то основная факторная его нагрузка на долготу означает, что из трех выборок это та, поток в которой в наименьшей степени отклоняется от субширотного направления, что в целом не противоречит имеющейся информации.

Таким образом, выделение трех факторов оказывается более предпочтительным, чем выделение двух. Рассмотрение четвертой и остальных переменных статистически бессмысленно.

Уровневая поверхность одно из водоносных горизонтов, построенная в программе Surfer методом Local Polynomial, показана на рис. 2 (области в оттенках серого). Линии равных напоров, рассчитанные с помощью программы Modflow-2005 (решатель PCG2) [17], показаны линиями белого цвета. Методология моделирования выходит за рамки статьи, в данном случае необходимо лишь отметить, что конфигурации уровней поверхностей подтверждаются независимым методом гидродинамического моделирования, которое неоднократно использовалось на данном месторождении [11]. При анализе сходства и различия поверхностей необходимо учитывать неизбежные ошибки и неточности построения их программой Surfer.

### Заключение

Показана возможность применения факторного анализа для конкретных задач гидрогеодинамической схематизации. Так как такая схематизация является необходимым элементом любой задачи, связанной с гидрогеологическим моделированием, данный подход может быть практически применен множеством исследователей.

В приведенном примере исходный массив данных наиболее точно описан тремя факторами. Их интерпретация однозначно указывает на грунтовый водоносный горизонт и два напорных под ним.

Дальнейшее развитие данной методологии представляется перспективным в направлении исследования данных по различным элементам ландшафта, выбранным с помощью ГИС-технологий, а также применением других многомерных методов, например кластерного анализа.

## Библиографический список

- Чесалов С. М., Шмагин Б. А. Статистические методы решения гидрогеологических задач на ЭВМ. — М.: Недра, 1989.
- Belkhir L., Narany T. S. Using Multivariate Statistical Analysis, Geostatistical Techniques and Structural Equation Modeling to Identify Spatial Variability of Groundwater Quality // *Water Resources Management*. 2015. Vol. 29. Iss. 6. P. 2073–2089.
- Subbarao C., Subbarao N. V., Chandu S. N. Characterisation of groundwater contamination using factor analysis // *Environmental Geology*, 28(4). 1996. P. 175–180.
- Гинзбург Л. Н., Токавищев И. А. Многомерный анализ геохимических данных Европы (геохимическое районирование и оценка экологического состояния). — М.: ЗАО «Пангея», 2012. С. 3–19.
- Love D., Hallbauer D. K., Amos A., Hranova R. K. Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies // *Physics and Chemistry of the Earth*, 2004. Vol. 29. P. 1135–1143.
- Hisafumi Asaue, Naoyuki Tadakumsa, Katsuaki Koike. Application of GIS to Hydrogeological Structure Modelling Aimed at Conservation of Groundwater // *Resources Geoinformatics*, 2014. Vol. 25. No. 3. P. 159–168.
- Owoseni J. O., Tamarautou E. U., Asiwaju-Bello Y. A. Application of Sequential Analysis and Geographic Information Systems for Hydrochemical Evolution Survey, Shagari Environ, Southwestern Nigeria // *American International Journal of Contemporary Research*, 2013. Vol. 3. No. 3. P. 38–48.
- Ялдыгина Н. GETMAP — новое решение для создания веб-ГИС // САПР и графика. 2016. № 3. С. 8–10.
- Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. — М.: Книжный дом «Университет» (КДВ), 2010. — 424 с.
- Кевин Х. Д., Стюарт Р. Географические информационные системы для административно-хозяйственного управления. URL: [https://docviewer.yandex.ru?url=http%3A%2F%2Fwww.esri-cis.ru%2Fupload%2Fiblock%2F00%2F2F%2Fwp\\_GIS4Facility\\_Management\\_2010.pdf&name=WP\\_GIS4Facility\\_Management\\_2010.pdf&lang=ru&sc=5704c215b013](https://docviewer.yandex.ru?url=http%3A%2F%2Fwww.esri-cis.ru%2Fupload%2Fiblock%2F00%2F2F%2Fwp_GIS4Facility_Management_2010.pdf&name=WP_GIS4Facility_Management_2010.pdf&lang=ru&sc=5704c215b013) (дата обращения: 06.04.2016).
- Лю Юй. Моделирование влияния солеотвалов калийных комбинатов на фильтрационные свойства водовмещающих пород (на примере территории влияния 2-го Соликамского калийного рудоуправления): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — М., 2012. — 142 с.
- Фетисов В. В. Геофильтрационная схематизация надсолевой толщи Ново-соликамского участка Верхнекамского месторождения солей // Всероссийская конференция по математическому моделированию в гидрогеологии: материалы конф. — М., 2008. URL: <http://hge.spbu.ru/download/sbornik.pdf> (дата обращения: 06.04.2016).
- Милютин А. Г. Геология. — М.: Издательство «Юрайт», 2014. — 543 с.
- Электронный учебник StatSoft. Главные компоненты и факторный анализ. URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stfacan.html> (дата обращения: 06.04.2016).
- Руководство пользователя QGIS. URL: [http://docs.qgis.org/2.8/ru/docs/user\\_manual](http://docs.qgis.org/2.8/ru/docs/user_manual) (дата обращения: 06.04.2016).
- Courtney M. G. R. Determining the number of factors to retain in EFA: Using the SPSS R-Menu v2.0 to make more judicious estimations // *Practical Assessment, Research and Evaluation*, 18(8). 2013. URL: <http://pareonline.net/getvn.asp?v=18&n=8> (дата обращения: 06.04.2016).
- Processing Modflow. An Integrated Modeling Environment for the Simulation of Groundwater Flow, Transport and Reactive Processes. Simcore Software, 2012. URL: <http://simcore.com/sites/default/files/pm/v8/pm8.pdf> (дата обращения: 06.04.2016). **PK**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 48–51  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.09>

#### A possible approach to the suprasalt formation hydrogeodynamic schematization of Verkhnekamskoe deposit of potassium salts

##### Information about author

A. S. Senov<sup>1</sup>, Senior researcher, Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, senov.andrew@yandex.ru

<sup>1</sup> VNII Galurgy Stock Co., Saint-Petersburg, Russia

##### Abstract

The article deals with hydro-geodynamic schematization, which is a preliminary stage for any subsequent calculations or mathematical modeling.

For hydrogeological calculations and simulation in the supra-salt sediments of VKMKS (Upper Kama deposit of potash salts) it is necessary to carry out hydro-geodynamic schematization of the aquifers. Due to complexity of geological structure and extreme heterogeneity of water-physical properties such a schematization causes some difficulties. On the one hand, the existence of horizontally oriented cracking systems results in noticeable alterations of level surface in one and the same aquifer. Water-transmitting capability of sediments alters from fractions of m<sup>2</sup>/day up to 5000 and more. On the other hand, dissected terrain relief with relatively great elevation difference also affects shaping of level surface. Added to this is presence of mineralized waters with heightened density and this requires to use pressure heads. Therefore, notwithstanding a large volume of available data, they are difficult to use for detecting a hydro-geodynamical structure of (stream) flows.

It is suggested to use for this purpose the multi-dimensional statistical methods. Here is given an example of data array processing by means of factor analysis using the principal components method. The data array in each case is selected using the GIS (geo-information system) techniques, taking into account its appurtenance to specific landscape elements.

A number of significant components is being selected both considering formal mathematical criteria and on the basis of their interpretability. The components are being interpreted as aquifers, and interpretation is made mostly using a table of factor loadings, considering a cumulative percent of explained dispersion. So, a phreatic aquifer has perceptibly higher correlation with landscape relief and lower pressure horizon, on the contrary, depends mainly on the longitude, since the general direction of the flow is to the west, towards Kama river, and effect of relief on this horizon is insignificant. The uppermost pressure horizon correlates also with the overlying layer of water-bearing sediments. Significance of the suggested classification has been proved statistically.

**Keywords:** Hydro-geodynamic schematization, multi-dimensional statistical methods, factor analysis, method of principal components, hydro-geodynamic simulation, geo-information systems.

##### References

- Чесалов С. М., Шмагин Б. А. *Статистические методы решения гидрогеологических задач на электронно-вычислительной машине* (Statistical methods of computer solution of hydrogeological tasks). Moscow: Nedra, 1989.
- Belkhir L., Narany T. S. Using Multivariate Statistical Analysis, Geostatistical Techniques and Structural Equation Modeling to Identify Spatial Variability of Groundwater Quality. *Water Resources Management*. 2015. Vol. 29, Iss. 6. pp. 2073–2089.
- Subbarao C., Subbarao V., Chandu N. Characterisation of groundwater contamination using factor analysis. *Environmental Geology*. 1996. 28 (4). pp. 175–180.
- Ginzburg L. N., Tokavishchev I. A. *Mnogomernyy analiz geokhimicheskikh dannykh Evropy (geokhimicheskoe rayonirovanie i otsenka ekologicheskogo sostoyaniya)* (Multivariate

analysis of European geochemical data (geochemical zoning and assessment of ecological condition)). Moscow: JSC "Pangea", 2012. pp. 3–19.

- Love D., Hallbauer D., Amos A., Hranova R. Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. *Physics and Chemistry of the Earth*. 2004. Vol. 29. pp. 1135–1143.
- Hisafumi A., Naoyuki T., Katsuaki K. Application of GIS to Hydrogeological Structure Modelling Aimed at Conservation of Groundwater. *Resources Geoinformatics*. 2014. Vol. 25, No. 3. pp. 159–168.
- Owoseni J. O., Tamarautou E. U., Asiwaju-Bello Y. A. Application of Sequential Analysis and Geographic Information Systems for Hydrochemical Evolution Survey, Shagari Environ, Southwestern Nigeria. *American International Journal of Contemporary Research*. 2013. Vol. 3, No. 3. pp. 38–48.
- Yaldygina N. GET MAP — новое решение для создания веб-ГИС (GET MAP — a new solution for web-GIS creating). *SAPR i grafika = CAD and Graphics*. 2016. No. 3. pp. 8–10.
- Lurie I. K. *Geoinformatsionnoe kartografirovaniye. Metody geoinformatiki i tsifrovoy obrabotki kosmicheskikh snimkov* (GIS mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of satellite images). Moscow: Knizhnyy Dom "Universitet", 2010. 424 p.
- Kevin H. D., Stewart R. *Geograficheskie informatsionnyye sistemy dlya administrativno-hozyaystvennogo upravleniya* (Geographic Information Systems (GIS) for administrative and economic management). Available at: [https://docviewer.yandex.ru?url=http%3A%2F%2Fwww.esri-cis.ru%2Fupload%2Fiblock%2F00%2F2F%2Fwp\\_GIS4Facility\\_Management\\_2010.pdf&name=WP\\_GIS4Facility\\_Management\\_2010.pdf&lang=ru&sc=5704c215b013](https://docviewer.yandex.ru?url=http%3A%2F%2Fwww.esri-cis.ru%2Fupload%2Fiblock%2F00%2F2F%2Fwp_GIS4Facility_Management_2010.pdf&name=WP_GIS4Facility_Management_2010.pdf&lang=ru&sc=5704c215b013) (accessed: April 06, 2016).
- Lu Yui. *Modelirovaniye vliyaniya soleovalov kaliynykh kombinatov na filtratsionnyye svoystva vodovmestchayushchikh porod (na primere territorii vliyaniya vtorogo Solikamskogo kaliynogo rudoupravleniya): Avtoreferat dissertatsii ... kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk* (Modeling the effect of salt piles at potassium plants on filtration properties of water-bearing rocks (on the example of the influence territory of the Solikamsk-2 potassium mine): thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Geological-Mineralogical Sciences). Moscow, 2012. 142 p.
- Fetisov V. V. *Geofiltratsionnaya skhematizatsiya nadsolovoy tolshchi Novosolikamskogo uchastka Verkhnekamskogo mestorozhdeniya soley* (Geo-filtrational schematization at suprasalt formation of Novosolikamsk site of Verkhnekamskoe salt deposit). *Vserossiyskaya konferentsiya po matematicheskomu modelirovaniyu v gidrogeologii: materialy konferentsii* (All-Russian Conference on Mathematical Modeling in hydrogeology: materials of conference). Moscow, 2008. Available at: <http://hge.spbu.ru/download/sbornik.pdf> (accessed: April 06, 2016).
- Milyutin A. G. *Geologiya* (Geology). Moscow: Publishing house "Yurayt", 2014. 543 p.
- Elektronnyy uchebnik StatSoft. Glavnyye komponenty i faktornyy analiz* (Electronic textbook StatSoft. Main components and factor analysis). Available at: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stfacan.html> (accessed: April 06, 2016). (in Russian)
- Rukovodstvo polzovatelya QGIS* (User manual QGIS). Available at: [http://docs.qgis.org/2.8/ru/docs/user\\_manual](http://docs.qgis.org/2.8/ru/docs/user_manual) (accessed: April 06, 2016). (in Russian)
- Courtney M. G. R. Determining the number of factors to retain in EFA: Using the SPSS R-Menu v2.0 to make more judicious estimations. *Practical Assessment, Research and Evaluation*. 2013. 18(8). Available at: <http://pareonline.net/getvn.asp?v=18&n=8> (accessed: April 06, 2016).
- Processing Modflow. An Integrated Modeling Environment for the Simulation of Groundwater Flow, Transport and Reactive Processes. Simcore Software. 2012. Available at: <http://simcore.com/sites/default/files/pm/v8/pm8.pdf> (accessed: April 06, 2016).