

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА, КОЛИЧЕСТВА, ОХРАНЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МОЛДОВЫ

Константин МОРАРУ, д. г.-м. н. хабилитат
Институт Геологии и Сейсмологии
Email: cmoraru@yahoo.com

Abstract. *A regional analysis of the quality, quantity and protection of groundwater has been performed. We need to differentiate quality of unconfined and confined aquifers. As a rule, unconfined aquifers are more polluted with anthropogenic products. In the contrary, confined aquifers has better quality of fresh water. The geochemical reaction in the system water-rock is the main factor determining confined aquifer quality. Reserves of unconfined aquifer are not estimated. Confined horizons contain water in the range 0.9 – 1.6 km³/year. Starting approximatively from 2000 water table of the confined horizons are increasing (or regenerating). Protection of the ground water is different. Mostly all territory is medium protected.*

Keywords: *Groundwater, quality, quantity, protection, Moldova*

ВВЕДЕНИЕ

Задачи комплексного использования водных ресурсов Республики Молдовы в условиях постоянной потребности в воде при новых экономических условиях поставили гидрогеологов перед необходимостью обеспечения новыми гидрогеологическими материалами. Эти данные необходимы для таких областей экономики, как водоснабжение, орошение, мелиорация земель, гидротехническое строительство, горнодобывающая промышленность и др. Результаты гидрогеологического картирования Европы, включая территорию Молдовы [1] показали, что территорию нашей страны нельзя рассматривать отдельно, но только в комплексе региональных геологических, тектонических и гидрогеологических структур. Качество (гидрогеохимия или геохимия подземных вод), количество (гидрогеодинамика) и защита подземных вод являются отдельными дисциплинами гидрогеологии. В настоящей работе будут рассмотрены основные сведения этих дисциплин для Республики Молдова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящие исследования реализованы на основе объемного фактического материала, который был собран, систематизирован, обработан лично автором или при его непосредственном участии в качестве ответственного исполнителя [1,2,3]. Кроме личных данных, в работе использованы официально опубликованные материалы и архивные неопубликованные сведения Государственного агентства по геологии Молдовы.

Методика исследований комплексная и состоит из следующих базовых составляющих: 1) экспедиционные исследования - полевые работы для получения в основном проб подземной воды и замеры уровней воды, 2) аналитические работы включают лабораторные и полевые (экспресс) определения химических элементов и физико-химических параметров, 3) обработка данных проведена с использованием современных количественных методов обработки геологической информации, приемов физико-химического моделирования и картографирования.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В целом, химический состав подземных вод Молдовы весьма изменчив как в плане, так и в геологическом разрезе. Несмотря на большое число публикаций по данному вопросу, условия формирования геохимии подземных вод страны изучены схематично.

Химический состав грунтовых вод Молдовы формируется под влиянием большого количества преимущественно поверхностных факторов. Их влияние на качество грунтовых вод очень велико. За последние десятилетия получен значительный прирост информации по

этому вопросу при использовании традиционных методов и геостатистического и ионного равновесия моделирования.

Ведущую роль в процессах формирования состава грунтовых вод играет геохимическая обстановка концентрации и рассеяния химических компонентов в верхней части зоны аэрации. Здесь располагается наиболее активный слой почв, где интенсивно протекают процессы растворения, выщелачивания, ионного обмена, генерации углекислоты и насыщение ею просачивающейся атмосферной влаги. В этой части зоны аэрации эффективно функционируют физико-химические барьеры, очень сильно влияющие на миграцию химических элементов. Для выяснения взаимосвязи и геохимического влияния верхней части зоны аэрации и грунтовых вод мы использовали "R"-кластерный анализ выборок сопряженных химико-аналитических данных по водным вытяжкам из почв и грунтовых вод из близкорасположенных колодцев, отдельно для водоразделов и аккумулятивных ландшафтов (долины малых рек и балок). На дендрограммах отчетливо выделяются три группы компонентов. *Первая группа* объединяет все макрокомпоненты грунтовых вод кроме HCO_3^- и K^+ . Наиболее тесной корреляционной связью в ней обладают Mg^{2+} и SO_4^{2-} ($r = 0.98$), которые на уровне 0.93 связаны с Ca^{2+} . Эта группа на уровне $r = 0.83$ коррелирует с подгруппой Na и Cl, объединенных на уровне кластеризации 0.86. Из этого следует, что сульфатная и хлоридная составляющая грунтовых вод выщелачивания, располагающихся на водоразделах, генетически не связана с гидрокарбонатами.

Из иерархии компонентов в *структуре II* группы видно, что гидрокарбонатный ион вод выщелачивания коррелируется с HCO_3^- - SO_4 -Na составляющей водных вытяжек из почв водоразделов. В этой группе наиболее сильную корреляционную связь имеют SO_4^{2-} и Na^+ водных вытяжек ($r = 0.88$). Эта пара ионов связана с гидрокарбонатами водных вытяжек на уровне $r = 0.71$, а гидрокарбонатные ионы грунтовых вод примыкают к триаде HCO_3^- - SO_4^{2-} - Na^+ с более низким коэффициентом корреляции $r = 0.48$. Геохимическую сущность этого явления мы связываем с генетической близостью ионов HCO_3^- гидрокарбонатам водных вытяжек, иначе говоря, существенный вклад в формирование гидрокарбонатных вод выщелачивания вносится углекислотой, генерируемой в почвенном слое.

Третья группа ионов отражает корреляционные взаимоотношения Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl⁻, K^+ водных вытяжек из почв с калием грунтовых вод. Из дендрограммы следует что вариации содержания калия почв функционально связаны с таковым калия в грунтовых водах ($r = 0.91$). Затем последовательно к ним примыкает Cl⁻ на уровне $r = 0.80$, Ca^{2+} и Mg^{2+} с уровнями кластеризации 0.60 и, соответственно 0.48. Тесная связь калия почв и грунтовых вод с одной стороны и более слабой корреляции с ионами Cl⁻, Ca^{2+} и Mg^{2+} в водных вытяжках из почв с другой, является свидетельством влияния доминирующего "почвенного" источника поступления калия в грунтовые воды. Поэтому возрастание концентрации щелочных земель и хлоридов калия в почвах сопровождается увеличением концентрации калия в грунтовых водах, распространенных на водоразделах и генетически принадлежащих к группе вод выщелачивания.

Через всю полученную информацию о распределении химических компонентов в грунтовых водах и зоне аэрации Молдовы красной нитью прослеживается связь состава вод выщелачивания с геохимическими процессами автономных почв водоразделов, с одной стороны, и химизма вод континентального засоления с геохимией зоны аэрации аккумулятивных ландшафтов - с другой.

Все природные процессы, протекающие в этих крупных геоморфологических зонах, как показано в предыдущих разделах, имеют свои специфические закономерности. Их нарушение заставляет нас искать причины в техногенном воздействии на окружающую среду. В настоящее время представляется возможным осмыслить лишь суммарное воздействие антропогенных процессов на загрязнение зоны аэрации и грунтовых вод. Повышенная минерализация и сульфатно-натриевый состав поверхностных вод очень быстро приводят к метаморфизации грунтовых вод и засолению почв. Независимо от того, располагаются ли они на водоразделах или в аккумулятивных ландшафтах, грунтовые воды

приобретают сульфатный облик. В результате этого падает контраст между составами вод выщелачивания и континентального засоления, а концентрации их макрокомпонентов теряют корреляционную связь с величиной абсолютной отметки водопунктов. К этому следует добавить антропогенную метаморфизацию грунтовых вод под влиянием нитратного загрязнения. Она приняла угрожающие размеры. В процессы техногенеза стал вовлекаться калий, так как сорбционные природные барьеры и биологические процессы не в состоянии уменьшить резко возросшую концентрацию этого элемента в окружающей среде.

Влияние эндогенного фактора (восходящей фильтрации артезианских вод по тектоническим разломам) на формирование химического состава грунтовых вод сильно затушено мощным воздействием испарительного геохимического барьера. Об этом можно судить по отсутствию статических значимых связей между концентрациями водорастворимого гелия и содержаниями "глубинных" компонентов. Нет и пространственной связи гелиевых аномалий в грунтовых водах с аномалиями гидрогеохимическими.

Формирование химического состава межпластовых подземных вод сильно отличается от таковой в грунтовых водах. Главное и преобладающее отличие относится к геологическому положению межпластовых вод в разрезе Молдавского артезианского склона. Как правило, межпластовые воды не имеют прямого контакта с атмосферой, дневной поверхностью и комплексом поверхностных источников загрязнения. Время фазового равновесия "вода - порода" в десятки тысяч (и более) раз больше во времени (медленное движение воды) в сравнении с грунтовыми водоносными горизонтами. Большое значение имеет пластовое гидростатическое давление и увеличивающаяся с глубиной температура подземных вод. Все эти особенности хорошо различимы и поддаются анализу при помощи геостатического, кластерного анализов и термодинамического моделирования ионных равновесий.

Качество межпластовых подземных вод существенно и принципиально отличается от грунтовых по следующим показателям: (а) постоянством химического состава на больших площадях и (б) практически отсутствием ингредиентов техногенного происхождения.

С точки зрения геохимии, водовмещающие породы представлены карбонатными породами, местами линзовидными песчаными монтмориллонитовыми глинами и кварцевыми песками. Содержание стронция и бария в неогеновых водосодержащих породах находится в пределах кларковых концентраций. Наиболее обогащены стронцием карбонатные породы, содержащие его в виде изоморфной примеси к кальцию в микрозернистом арагоните, которым на половину сложены породообразующие раковины неогеновых моллюсков и гастропод.

Неогеновые породы Молдовы содержат почти на порядок больше селена, чем средняя концентрация этого элемента в земной коре. Особенно обогащены селеном монтмориллонит содержащие глины. Совершенно нет селена в биогенных и хемогенных известняках.

Ионно-солевой комплекс водовмещающих пород, независимо от их состава, имеет преимущественно $MgCa$ состав в областях жестких блоков нисходящего питания. Гидрокарбонатно-натриевыми реже гидрокарбонатно-натриевыми и сульфатно-гидрокарбонатно-натриевыми становятся составы водных вытяжек из водовмещающих отложений, вскрытых скважинами в районах гидрогеохимических и гелиевых аномалий.

Химический состав межпластовых вод зависит от процессов выщелачивания и смешения восходящих потоков с пластовыми водами. Установлено, что воды выщелачивания, с фоновыми и меньшими значениями содержания гелия, обычно маломинерализованны, с большой карбонатной и сульфатной жесткостью, нейтральной реакцией pH, положительным значением окислительно-восстановительного потенциала, с низкими концентрациям фтора. По соотношению ионов в формуле Курлова они подразделяются на $HCO_3 - Ca - Mg$, $HCO_3 - SO_4 - Ca - Mg$, $SO_4 - HCO_3 - Ca - Mg$, $HCO_3 - SO_4 - Cl - Na - Mg$.

Воды смешения отличаются от такового выщелачивания. В них резко возрастает рН, повышается содержание натрия, калия, карбонатного и гидрокарбонатного ионов, хлоридов, фтора, растворенного органического вещества ароматического ряда, уменьшаются до нескольких мг/л содержания кальция и магния, характерен отрицательный окислительно-восстановительный потенциал. К ним относятся: $HCO_3 - SO_4 - Na$, $HCO_3 - Cl - Na$, $Cl - HCO_3 - Na$ и $HCO_3 - Na$ воды. Все они имеют высокие концентрации гелия.

Анализ карты защищенности показывает, что почти вся территория Молдовы характеризуется незащищенными и слабо защищенными грунтовыми водами от поверхностного загрязнения. Лишь в некоторых местах, на севере страны обнаруживаются защищенные грунтовые воды. Выделенные по показателю защищенности районы хорошо коррелируют с региональными особенностями геохимии грунтовых вод. Статистически, только в 5 % из общего числа анализируемых проб грунтовых вод (принятое как 100 %) выявлено соответствие санитарно-гигиеническим нормативам для питьевой воды.

Для оценки защищенности межпластовых подземных вод использован анализ карт глубины залегания первого водоупорного горизонта от поверхности земли и арифметическая разница между отметкой кровли водоупора и пьезометрическим уровнем. Анализ этих величин показывает, что на территории страны существуют значительные площади защищенных и условно защищенных межпластовых вод, в основном ниже – и среднесарматского возраста.

Эксплуатационные запасы подземных вод Молдовы были подсчитаны несколько раз и в настоящее время нет четкого представления об объеме питьевых вод. Этот объем составляет статистический интервал 2.5 – 4.4 миллионов м³/сутки или 0.9 – 1.6 км³/год. Ресурсы подземных вод составляют около 3.76 км³/год. Это значит, что пополнение подземных вод мощное. Более того, начиная с 2000 г. наблюдается восстановление уровней межпластовых вод или регенерация запасов воды. При таких обстоятельствах можно планировать использование подземных вод не только для питьевого водоснабжения, но и для других нужд экономики страны.

ВЫВОДЫ

1. Подземные воды Молдовы являются составной частью Причерноморского артезианского бассейна. Территория страны не имеет свои отличительные геологические, тектонические и соответственно гидрогеологические особенности. Гидрогеологические условия унаследованы от регионального гидрогеологического строения.

2. Химический состав подземных вод зоны активного водообмена изменяется сверху (удовлетворительное) вниз (хорошее и условно хорошее) по геологическому разрезу.

3. Эксплуатационные запасы подземных вод изучены слабо. Можно отметить, что такие запасы невелики и составляют около 0.9 – 1.6 км³/год при естественных ресурсах около 3.76 км³/год.

4. Грунтовые воды практически не защищены от поверхностных факторов и загрязнителей. Межпластовые воды защищены или условно защищены. Защищенность в конечном итоге определяет направление реакции ионных равновесии и химизм воды.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. MORARU, Constantin. Rezervele exploatabile ale apelor subterane din Republica Moldova. In: *Academos*, 2018, nr. 2, p. 34-41. ISSN 1857-0461.

2. MORARU, C.; Anderson, G. *A comparative assessment of the groundwater quality of the Republic of Moldova and the Memphis, TN area of the United States of America*. Ch.-Memphis, 2005. 187 p. ISBN 9975-9892-6-8.

3. MORARU, C.; HANNIGAN, R. *Analysis of hydrogeochemical vulnerability*. Springer. 2018. 171 p. doi.org/10.1007/978-3-319-70960-4.

ГРАФИКИ КВАНТИЛЬ-КВАНТИЛЬ (Q – Q) ДЛЯ ГИДРОЛОГО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ МОЛДОВЫ

Е.Н. МАТВЕЕВА, научный сотрудник, matveeva61@mail.ru

Л.Л. ВЭТЭМАНУ, младший научный сотрудник, liubitzaturcan@gmail.com

К.Е. МОРАРУ, старший научный сотрудник, д.г.-м.н. наб., cmoraru@yahoo.com

Институт Геологии и Сейсмологии

***Abstract.** Verification of the normal statistical law on the basis of Q-Q plot methodology for the first time has been done using a large number of hydrological and hydrogeological data (discharge and water table). This methodology includes analysis of Q-Q plots, its digitalizing, calculation of the correlation index and coefficient, and finally designing about data normality. Obtained results permits to estimate statistical reliability of the statistical mean and probability of cartographic models.*

Keywords: *Q – Q Plot, normal law, hydrological and hydrogeological data.*

ВВЕДЕНИЕ

Предположение о принадлежности случайной величины нормальному закону распределения лежит в основе многих статистических методов и критериев. В ряде случаев соблюдение данного требования является критичным для применения того или иного метода.

Статистическая проверка принадлежности гидрологических и гидрогеологических данных к нормальному закону распределения является важной задачей геостатистики. Впервые для многочисленных значений расхода рек и уровней подземных вод выполнена проверка закона распределения с использованием технологии Q – Q (квантиль-квантиль) графиков. Графики квантиль-квантиль сравнивают совокупности данных с согласованным нормальным распределением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

На графике квантиль-квантиль (или Q – Q график), также называемом графиком квантилей можно зрительно оценить подгонку теоретического распределения к наблюдаемым данным, т.е. это позволяет нам понять с одного взгляда, какое может быть максимальное отклонение без угрозы невозврата к историческому значению.

Q - Q график (Q - квантиль) - это график, на котором квантили из двух распределений расположены относительно друг друга. Чем ближе точки на графике к диагональной прямой, тем ближе распределение исследуемой переменной к нормальному закону. Квантиль-квантиль график, представляет собой инструмент, который помогает нам оценить правдоподобность отклонения среднего от теоретического распределения.

На квантиль-квантиль графике показана связь между наблюдаемыми значениями переменных и теоретическими квантилями. Если наблюдаемые значения попадают на прямую линию, то теоретическое распределение хорошо подходит к наблюдаемым данным.

Для построения Q - Q графика программа сначала упорядочивает по возрастанию n точек наблюдаемых данных:

$$X_1 X_2 \dots X_n$$

Эти наблюдаемые значения откладываются по одной из осей графика; по другой оси откладываются следующие значения:

$$F^{-1}((i-r_{adj})/(n+n_{adj})),$$

где i - есть ранг соответствующего наблюдения, r_{adj} и n_{adj} - корректировки, а F^{-1} есть обратный вероятностный интеграл для соответствующего стандартизованного распределения.

Получившийся график представляет собой диаграмму рассеяния наблюдаемых и ожидаемых (стандартизованных) значений при соответствующем заданном распределении.

Необходимые подготовительные расчеты и графические построения выполнялись в срезе пакета программы SPSS-22 (Statistical Package for the Social Sciences) [3], в разделе разведочная статистика. Построение и дальнейшая работа с квантиль-квантиль графиками (Q – Q plot-ами) проводилась в программе Get Data 2.26 [4]. Пример представлен на рис. 1.

Построение и работа с Q – Q графиками проводится в следующей последовательности:

1. установление системы координат;
2. выделение X_{\min} и X_{\max} ;
3. выделение Y_{\min} и Y_{\max} ;
4. проверка параметров системы координат (справа на рис. 1);
5. работа в режиме установки точек исходных данных;
6. дигитизирование (оцифровывание или преобразование в цифровую форму) данных (см. правую панель X, Y);
7. экспортирование данных в формат Excel.

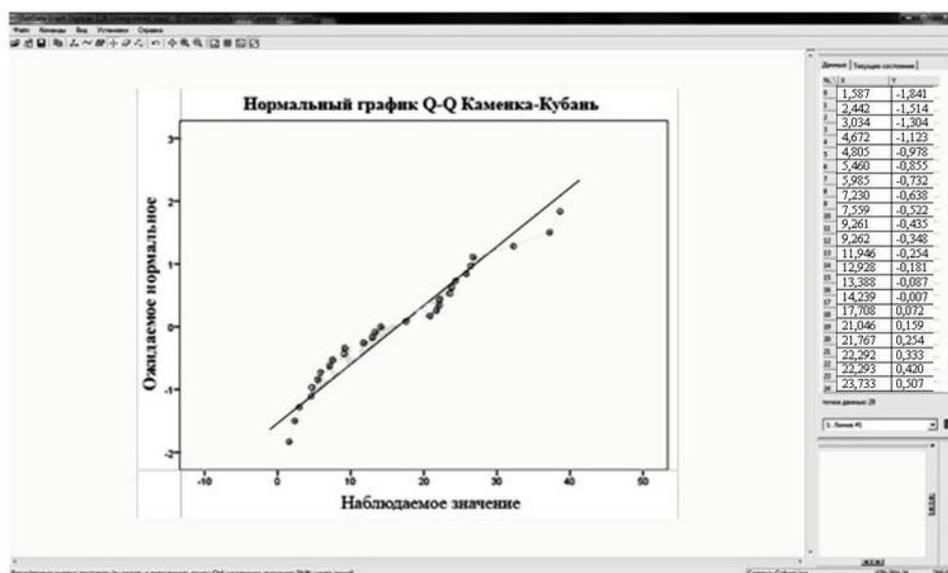


Рис. 1. Построение Q – Q графика в программе Get Data 2.26

Исходными материалами для проделанной работы послужили многолетние гидрологические и гидрогеологические данные [1, 2] и архивные материалы лаборатории Гидрогеологии Института Геологии и сейсмологии.

Предложенная методология опробована авторами для следующих статистических методов, используемых для подсчетов ресурсов подземных вод для территории Республики Молдова: Воскресенского; Баланса; Потери стока; Межени; Куделина; PART и BFI.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Авторами предложена методология количественного сравнения Q – Q графиков, которая включает дигитизирование графиков, расчет индекса и коэффициента корреляции и определение интервала нормальности.

Программе Get Data 2.26 позволяет работать как с нормальными Q – Q графиками (см. рис. 2), так и с нормальными Q – Q графиками с удаленным трендом (см. рис. 3).

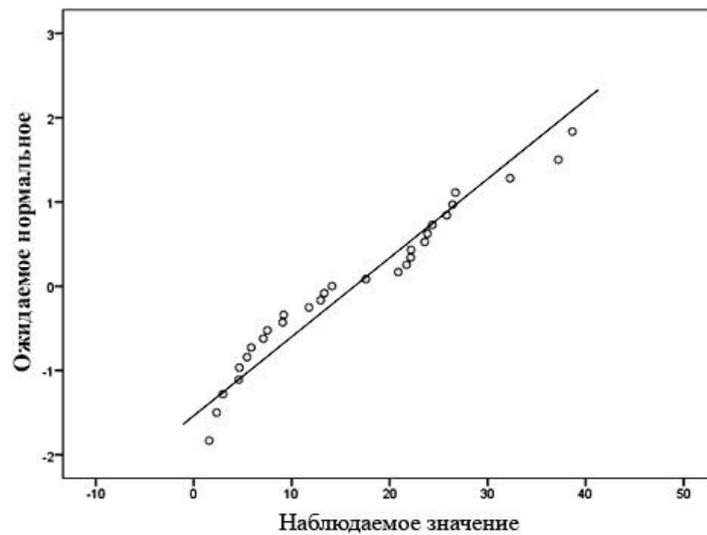


Рис. 2. Нормальный график Q – Q (Каменка - Кубань)

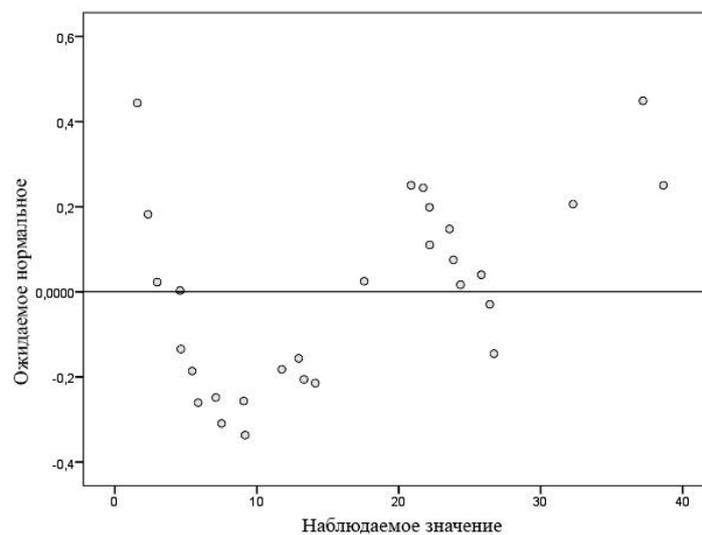


Рис. 3. Нормальный график Q – Q с удаленным трендом (Каменка - Кубань)

Метод квантиль-квантиль графиков опробован на данных по 43-м малым рекам Молдовы, а также на семи и трех гидрологических створах на р. Днестр и р. Прут соответственно [1, 2]. Для всех перечисленных пунктов метод применялся по всем семи указанным выше статистическим методам.

На рис. 4, как пример, приведен дигитизированный квантиль-квантиль график по р. Каменка (гидрологический пост Кубань).

После экспортирования дигитизированных данных Q – Q графиков в формат Excel по всем указанным методам для всех пунктов рассчитывался индекс и коэффициента корреляции среднего значения, а также определялся интервал нормальности.

Проведенная работа позволила определить статистическую надежность среднего значения исходных данных за многолетний период наблюдений.

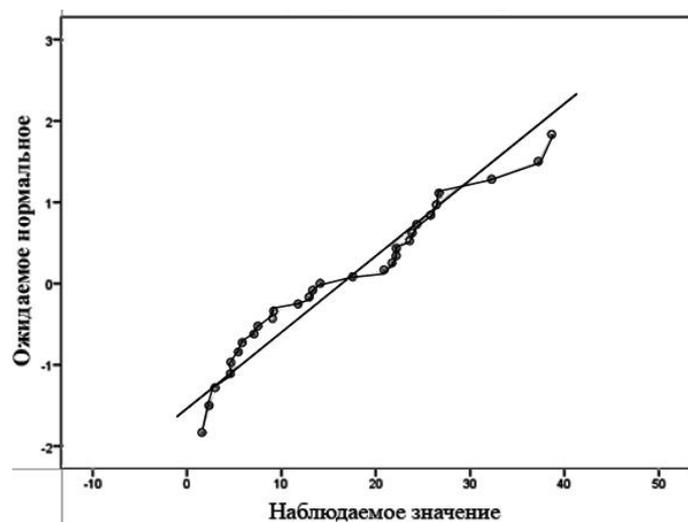


Рис. 4. Дигитизированный нормальный график Q – Q (Каменка - Кубань)

ВЫВОДЫ

Полученные результаты использования метода Q – Q графиков показали довольно высокую надежность исходного материала, что позволяет использовать его в дальнейшем для построения вероятностных картографических моделей гидрологического и гидрогеологического профиля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Гидрологический Ежегодник 1958 - 1978 г. Том 2 Бассейн Черного моря (без Кавказа) выпуск 0, 1 Бассейн Черного моря без бассейнов р. Днепр и р. Дон.* - Ленинград: Гидрометеиздат, 1958 - 1978.
2. *Государственный водный кадастр: Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1979 – 1986 г. Части 1 и 2. Том IX.* - Кишинев, 1979 - 1990.
3. *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 22).* www.ibm.com/us-en/marketplace/spss-statistics (accesat 22.11.2017).
4. *Программа Get Data 2.26.* <http://www.getdata-graph-digitizer.com/download.php>