

УДК681.3

А. А. ШАРИПБАЕВ, М. Х. КАРАБАЛАЕВА

ДИКТОРОЗАВИСИМАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ КАЗАХСКОЙ РЕЧИ: МОДЕЛЬ, РЕАЛИЗАЦИЯ, ТЕСТИРОВАНИЕ

(Представлена академиком НАН РК М. О. Отелбаевым)

Предложено решение проблемы распознавания казахской речи с помощью нейронных сетей, разработана программа реализации алгоритмов построения и обучения нейронных сетей, приведены результаты тестирования.

1. Ключевые моменты

Что понимается под распознаванием речи? Мы будем понимать под распознаванием речи преобразование речи в текст, т.е. соотношение звуков казахской речи (или их последовательности) с символами казахского алфавита (или их последовательностью).

Таким образом, нашей задачей является построение классификатора, который с приемлемой точностью мог бы относить звуки речи к какому-либо классу, которому сопоставлен конкретный символ алфавита.

В чем разница между распознаванием казахской и, например, русской речи? Здесь можно отметить два аспекта – фонетический и лингвистический.

В любом языке существует некий (специфичный для данного языка) набор звуков, который участвует при формировании звукового облика слов. Элементы этого набора звуков называются фонемами. Формальное описание фонетического строя казахского языка составляет фонетический аспект проблемы распознавания.

Лингвистический аспект заключается в том, что для достижения приемлемого качества распознавания необходим параллельный лингвистический анализ текста. Это может быть морфологический, синтаксический, семантический анализ, поиск словоформ в словарной базе данных и др. Структура подобного анализа целиком и полностью зависит от специфики языка распознавания – в нашем случае, казахского.

Какие проблемы возникают при построении системы распознавания речи? Главная особенность речевого сигнала в том, что он очень сильно варьируется по многим параметрам. Поэтому при построении модели системы распознавания речи возникают две основные

проблемы. Во-первых, необходимо искать такие параметры речевого сигнала, которые полностью описывали бы его (т.е. позволяли бы отличить один звук речи от другого), но были бы в какой-то мере инвариантны относительно указанных выше вариаций речи. Во-вторых, полученные таким образом параметры должны затем сравниваться с образцами, причем это должно быть не простое сравнение на совпадение, а поиск наибольшего соответствия.

Для решения первой задачи традиционно используется спектральный анализ звука, кепстральный анализ, в последнее время также приобретает популярность аппарат вейвлет-преобразований. В данной работе для выделения ключевых характеристик речевого сигнала используется спектральное разложение сигнала с использованием алгоритма Дискретного преобразования Фурье.

Для решения второй задачи информатика предлагает такие аппараты, как нечеткие множества, нейронные и фаззи-нейронные сети. В нашей системе для решения задачи классификации звуков используется многослойная нейронная сеть обратного распространения.

Описываемая система автоматического распознавания казахской речи является дикторозависимой, т.е. работает с настройкой на голос определенного человека. Система состоит из следующих программных модулей:

- «Спектр», осуществляющий выделение основных характеристик речевого сигнала;
- «Нейро», осуществляющий распознавание речевого сигнала.

2. Программный модуль «Спектр»

Программный модуль «Спектр» реализован на Borland Delphi 6 и MS Access 2002 с использованием библиотеки AntFFT.dll [1].

Модуль работает по следующему алгоритму:

1. Считывается фрагмент речи в .wav-формате, оцифрованный с заданными частотой дискретизации (44100 Гц), разрядностью квантования (16 бит) и количеством каналов (моно).

2. Фрагмент разбивается на одинаковые сегменты, длина которых достаточна для проведения Дискретного преобразования Фурье (в интервале 64 – 65536 точек). «Хвост» фрагмента, не вошедший в последний цельный сегмент, отсекается.

3. К каждому сегменту применяется окно сглаживания (Хэмминга). Наложение окна сглаживания немного понижает контрастность спектра, но позволяет яснее проявить гармонический состав речи. Затем сегмент раскладывается в спектр по частотам, кратным основной частоте. Отмечу, что значение основной частоты фактически уже жестко задано двумя параметрами: частотой дискретизации и длиной окна FFT. Так, например, при длине окна в 512 точек значение основной частоты окажется равным $44100/512 \approx 86,13$ Гц. Следовательно, разложение в спектр данного звукового фрагмента будет произведено по частотам, кратным 86,13 Гц.

4. Результаты, полученные для каждого сегмента, сохраняются в базе данных для последующей обработки.

3. Формирование звуковой базы

Реализация нейросетевого алгоритма распознавания речи состоит из трех отдельных этапов:

- формирование звуковой базы,
- создание (конфигурирование) и обучение нейросети,
- использование нейросети для автоматического распознавания речи.

Для формирования звуковой базы использовались файлы с записью речи диктора, читающего казахский букварь. При помощи программы Sonic Foundry Sound Forge 6.0 осуществлялся поиск фрагментов речи, где те или иные фонемы были наиболее ярко выражены. Было обработано около 30 гласных и согласных звуков от «А» до «Э», для каждого выделено около 40 различных образцов звучания.

Помимо фонем, в отдельные звуковые файлы были также сохранены целые слова, произносимые диктором. Множество «нарезанных» таким способом «кусочков» составляют звуковую базу системы.

В дальнейшем из отдельных фонем будет сформирована обучающая выборка нейросети, из отдельных слов – тестовая.

4. Создание и обучение нейросети

Для создания нейросети был выбран продукт Neural Network Wizard 1.7 от компании BaseGroup Labs [2] – простой и эффективный программный эмулятор нейрокомпьютера, реализующий многослойную нейронную сеть обратного распространения. Для работы с ним необходимо собрать статистику по процессу, выбрать конфигурацию нейросети, а затем обучить нейросеть на собранных данных. При этом используется обучение с учителем.

В качестве обучающей выборки использовались результаты работы программного модуля «Спектр», а именно – спектрограммы фонем накопленной звуковой базы.

Отмечу три важных момента, касающихся предварительной подготовки входных данных (обучающей выборки).

Во-первых, при просмотре таблицы спектральных частот и амплитуд привлек внимание тот факт, что частоты за рубежом 4000 Гц становятся малоинформативными, т.к. их амплитуды близки к нулю. Поэтому чтобы не засорять нейросеть неинформативными данными я ограничилась первыми 50-тью гармониками спектра. При разложении в спектр с длиной окна 512 (а именно такое окно было выбрано для FFT-преобразования) первые 50 гармоник (из 255-ти) как раз покрывают диапазон 86,13 – 4306,64 Гц. Причем скорость работы модуля «Спектр» значительно выигрывает.

Во-вторых, известно, что у человеческого уха логарифмическая чувствительность. Поэтому чтобы сравнивать не сами амплитуды, а их отношения, перед непосредственной подачей на вход нейросети спектр был подвергнут сжатию в пространстве амплитуд, с использованием формулы для перевода отношения в логарифмическую шкалу:

$$X_{\text{new}} = 20 \cdot \lg (X / X_N),$$

где X – текущее значение амплитуды; X_N – номинальное значение; X_{new} – амплитуда в новом сжатом амплитудном пространстве.

В качестве номинального значения была выбрана максимальная для данной спектрограммы амплитуда.

Полученные новые значения X_{new} сохраняются в базе данных и оттуда передаются нейросети.

В-третьих, на вход нейросети я подаю количественные данные (числовые значения амплитуд), а на выходе ожидаю получить символьное значение (распознанный звук). Нейросеть умеет оперировать только числами, следовательно, нужно представить символьную информацию в числовом виде, т.е. кодировать.

Сначала я пробовала кодировать каждый звук его порядковым номером: «А» = 1, «Е» = 2, «О» = 3, и т.д. Это оказалось неэффективным, так как даже небольшие ошибки нейросети приводили к сильному искажению результата. Тогда я попробовала при кодировании увеличить расстояние между символами: «А» = 0, «Е» = 40, «О» = 80, и т.д. Результат определялся по наименьшему расстоянию между значением на выходе нейросети и кодом символа. Этот подход оказался более плодотворным, и для пяти символов он показал прекрасные результаты. Однако с увеличением количества распознаваемых символов привнесение нежелательной упорядоченности выходных данных стало затруднять процесс обучения и искажать результат. Для решения этой проблемы число нейронов в выходном слое было увеличено, с тем чтобы назначить каждому символу один выходной нейрон. В результате, сейчас выходные символы представляются следующим образом: «А» = {100; 0; 0; 0; 0; ...}, «Е» = {0; 100; 0; 0; 0; ...}, «О» = {0; 0; 100; 0; 0; ...}, и т.д.

Создание нейросети происходит по следующему алгоритму:

1. Определяется конфигурация сети: количество нейронов во входном слое (по числу гармоник спектра), количество нейронов в выходном слое (по числу распознаваемых звуков), количество скрытых слоев, количество нейронов в каждом слое, коэффициент крутизны передаточной функции.

2. На вход нейросети подается обучающая выборка, нормированная в отрезке [-1, 1]. При этом нормируются как входные, так и выходные данные.

3. Задаются параметры обучения сети: скорость обучения, момент, критерии остановки обучения и пр.

4. Запускается обучение. При обучении ставится задача минимизация целевой функции

ошибки нейросети, которая находится по методу наименьших квадратов:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2,$$

где w – веса синапсов нейросети; y_j – значение j -го выхода нейросети; d_j – целевое значение j -го выхода; p – число нейронов в выходном слое.

При обучении используется алгоритм обратного распространения ошибки (back propagation), в котором ошибка распространяется от выходного слоя к входному, т.е. в направлении, противоположном направлению распространения сигнала при нормальном функционировании сети [3].

5. Обучение останавливается, когда средняя ошибка при обучении не превышает 0,01.

6. Результаты работы системы сохраняются в конфигурационный файл. В этом файле описана конфигурация нейросети и полученные в результате обучения значения всех синаптических весов и смещений нейронов. Это позволяет восстанавливать параметры полученной нейросети для дальнейшего ее использования.

5. Программный модуль «Нейро»

Программный модуль «Нейро» реализован на MS Access 2002.

Модуль работает по следующему алгоритму:

1. Считываются параметры обученной нейросети – количество слоев, количество нейронов в каждом слое, значения весов и смещений.

2. Выбирается тестовый .wav-файл, содержащий фрагмент речи (слово или звук). Фрагмент должен быть разбит на сегменты длиной 512 точек, и спектрограмма каждого сегмента уже должна иметься в базе данных как результат работы программного модуля «Спектр».

3. Первые 50 гармоник спектра одного сегмента, преобразованные в логарифмическом масштабе, подаются на вход нейросети.

4. Нейросеть рассчитывает набор выходных значений.

5. Набору выходных значений сопоставляется некий символ. При сопоставлении используются следующие правила:

- если амплитуды всех гармоник $< 0,1$, то на выходе определяется символ «_», т.е. пауза;

- если на одном из выходов получено значение > 75 , то на выходе определяется символ (буква казахского алфавита), назначенный именно этому выходу нейросети;

– если ни на одном из выходов не получено значение > 75 , то на выходе определяется символ «?», т.е. неизвестный символ;

– если на двух и более выходах получено значение > 50 , то программа сигнализирует о неоднозначном решении.

6. Пункты 3–5 повторяются для каждого сегмента.

7. Производится последовательная конкатенация всех выходных символов, в результате формируется текстовая строка. Эта текстовая строка и есть результат распознавания нейросетью исходного звукового файла.

6. Тестирование и отладка системы

Пять гласных.

Первая нейросеть была обучена распознавать 5 гласных – «А», «Е», «О», «Ұ», «Ы». Обучающая выборка содержала 100 примеров, по 20 на каждую гласную.

При анализе результатов проявились некоторые закономерности. Нейросеть сильно путает между собой «А» и «Ы», а также «О» и «Ұ». Встречающиеся же в речи незнакомые мягкие гласные («І», «ү», «е», «И») и согласный «Й» она в большинстве случаев распознает как «Е». Впрочем, иногда она узнает в незнакомых звуках «У» и «ү» знакомый ей звук «Ұ», в звуке «е» – звук «О» или «Ұ», а в звуке «Ә» – звук «А» или «Ы». На мой взгляд, в этом есть очевидная закономерность. А некоторую путаницу нейросети вполне можно извинить, так как в речи диктора звучание одних и тех же гласных в разных словах может значительно различаться.

Что касается согласных звуков, которые ей абсолютно незнакомы, то логично было ожидать, что нейросеть будет выдавать на выходе «?» – сообщение о неизвестном символе. Но почему-то вместо этого она уверенно распознавала в согласных звуках разные известные ей гласные.

Однако самым важным результатом этого теста явился тот факт, что нейросеть уверенно различает твердые и мягкие гласные, как будто иллюстрируя закон сингармонизма казахского языка.

Пятнадцать звуков.

Стремясь прояснить полученные результаты, вторую нейросеть я обучила уже для 15-ти разных звуков. К пяти гласным я добавила 3 звонкие согласные, 3 парные им глухие согласные, 3 сонорных звука и одну шипящую: «А», «Е», «О», «Ұ», «Ы», «Б», «П», «Г», «К», «З», «С», «Р», «Л»,

«Й», «Ш». Обучающая выборка содержала 300 примеров, по 20 на каждый звук.

Сначала я протестировала нейросеть на отдельных звуках, тех самых, которые составили обучающую выборку. Нейросеть продемонстрировала очень высокую точность распознавания для большинства звуков – 85-100 % (исключением является только звук «Ұ», который нейросеть правильно распознала только в 12-ти случаях из 20-ти). Однако эти результаты свидетельствуют главным образом о том, что нейросеть хорошо запомнила свою обучающую выборку. Для того же, чтобы узнать, насколько репрезентативна и достаточна обучающая выборка, нужно протестировать нейросеть на новых, незнакомых ей звуковых фрагментах.

С учетом этого, меня особенно порадовали результаты тестирования нейросети на звуках «И» и «У». Нейросети эти звуки не знакомы, так как в обучающую выборку не входили. Однако нейросеть распознала в звуке «И» знакомые ей звуки «Й» и «Е» (17 случаев из 18-ти), а в звуке «У» – звук «О» (13 случаев из 18-ти), т.е. выдала максимально правдоподобные ответы.

На следующем этапе я протестировала нейросеть на звуковых файлах, содержащих отдельные казахские слова. Результаты получились невнятные, т.к. в тестовых примерах встречалось много других звуков, помимо тестируемых.

Двадцать звуков.

Следующую нейросеть я обучила для 20-ти звуков – «А», «Е», «О», «Ұ», «Ы», «Б», «Х», «Г», «К», «С», «З», «Р», «Л», «Ш», «Й», «Ж», «Т», «Н», «Қ», «М». Это звуки, наиболее часто встречающиеся в тестовых примерах. Обучающая выборка содержала 800 примеров, по 40 на каждый звук. Причем в этот раз не делалось различия между твердыми и мягкими согласными. Так, например, нейросеть была обучена распознавать символ «Р» как в звуке «Р», так и в звуке «Рь».

Результаты тестирования работы этой нейросети приведены в табл. 1.

Для удобства анализа результаты сведены в единую таблицу (табл. 2), где по строкам расположены звуки, поданные на вход системы, а по столбцам – символы, полученные на выходе. По главной диагонали расположены и выделены полужирным начертанием числа, отражающие количество успешных попыток распознавания.

Таблица 2. Точность распознавания

	Распознано																	Всего испы- та- ний	Успех, %	С уче- том родст- вен- ных звуков							
	А	Е	О	Ұ	Ы	Б	Х	Г	К	С	З	Р	Л	Ш	Й	Ж	Т				Н	Қ	М	?			
Предложено	А	7			19		1				2									1	8	38	18	68			
	Е		9										1		1							3	14	64	71		
	О			6	8																		14	43	100		
	Ұ				2							1											2	5	40	40	
	Ы					11																	5	16	69	69	
	Б						3		3														3	9	33	67	
	Х							4																4	100	100	
	Г								2															4	6	33	33
	К				1						2													4	7	29	29
	С										2	2												5	9	22	44
	З											4													4	100	100
	Р					1						12	1											6	20	60	60
	Л												9									2	2	13	69	69	
	Ш														7										7	100	100
	Й		1													7									8	88	100
	Ж																4							1	5	80	80
	Т								1				1					6						9	17	35	35
Н											1							10		2	7	20	50	50			
Қ				1			2															7	10	0	20		
М																					3	2	5	60	60		

тию и использованию системы:

1) По возможности, формализовать фонетический строй казахского языка, выделить ключевые и родственные фонемы, упорядочить обучающую выборку нейросети.

2) Накопить звуковую базу, увеличить обучающую выборку.

3) Попробовать альтернативные, более сложные нейросетевые архитектуры (например, самоорганизующиеся карты Кохонена, сети с временными задержками и др.) В этом плане многообещающе выглядят нечеткие нейронные сети, в которых выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, а соответствующие функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения нейросетей.

4) И, наконец, подключить к распознаванию параллельный лингвистический анализ текста, структура которого целиком и полностью зависит от специфики казахского языка.

Можно с уверенностью утверждать, что при

интеграции указанных механизмов можно достичь значительных успехов в области дикторозависимого распознавания слитной казахской речи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авторский некоммерческий электронный журнал о звуке <http://websound.ru/>
2. Информационный портал компании BaseGroup Labs <http://www.basegroup.ru/>
3. Справочная система Neural Network Wizard ver.1.7.

Резюме

Қазақ тіліндегі сөйлеулерді нейрондық желілер көмегімен тану проблемасын шешу ұсынылған, нейрондық желілерді құру және оқыту алгоритмдерін жүзеге асыратын бағдарлама жасалынған, қазақ тіліндегі сөйлеулерді тану тестілері келтірілген.

Summary

The solution of the problem of kazakhs speech recognition using neural network are suggested, the program realising neural network building and teaching algorithm is implemented, the testing results are shown.

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана

Поступила 2.08.07г.

*Ж. Е. АКЕТАЕВ***ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА БАЙКОНУР***(Представлена академиком НАН РКГ. Х. Ергалиевым)*

Основные закономерности формирования подземных вод. Гидрогеологические условия рассматриваемой территории сложные, весьма своеобразные. Обусловлено это приуроченностью территории к краевым частям двух крупных структур 1-го порядка – Сырдарьинской и Тургайской системам артезианских бассейнов и выходом на поверхность меловых отложений, которые в пределах бассейнов погружены на значительные глубины.

С северо-востока сюда заходит Мынбулакский артезианский бассейн 2-го порядка, а с юга – Кызылкумский артезианский бассейн 2-го порядка, являющийся частью Сырдарьинской системы. Граница между бассейнами проходит по главному Каратаускому разлому. Движение подземных вод в пределах Мынбулакского артезианского бассейна в целом направлено на юго-запад. В пределах же Кызылкумского артезианского бассейна направлено в общем на северо-запад. Таким образом, Нижнесырдарьинское поднятие, где меловые породы выходят на поверхность до абсолютных отметок 250-288 м (отметки поверхности перед поднятием 95-110 м), является как бы преградой на пути потоков подземных вод меловых водоносных комплексов.

В пределах Мынбулакской котловины, в полосе вдоль Главного Каратауского разлома, происходит явная разгрузка подземных вод, о чем свидетельствует наличие многочисленных восходящих родников. Кроме того, разгрузка может осуществляться и в Главный Каратауский разлом. Со стороны Кызылкумского артезианского бассейна нет ни того, ни другого.

При изучении образования подземных вод региона, области питания были разделены на области формирования подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков и области поглощения поверхностных вод и инфильтрации атмосферных осадков одновременно. Для глубоких горизонтов питание происходит исключительно за счет перетекания подземных вод из верхних горизонтов.

К областям транзита отнесены области преобладающего латерального движения подземных

вод. Области разгрузки характеризуются преобладанием вертикальной фильтрации и дифференцируются на области разгрузки путем испарения или перетекания.

Характерной особенностью гидрогеологических условий описываемой территории, как и всего региона, является наличие двух гидродинамических условий зон водообмена, подземные воды которых резко различаются по условиям залегания, формирования и циркуляции, обуславливающим различие их минерализации и химического состава.

Верхний гидродинамический этаж расположен выше регионального водоупора палеоценовых глин и является зоной весьма интенсивного водообмена. Он включает в себя подземные воды четвертичных и, частично, верхнеплиоценовых отложений. Эти верхние горизонты содержат подземные воды либо со свободной поверхностью, либо слабонапорные, характеризующиеся высокими скоростями их продвижения. Основным источником питания подземных вод верхнего этажа является инфильтрация атмосферных осадков и просачивание вод из искусственных озер, созданных многочисленными самоизливающимися скважинами.

Нижний гидродинамический этаж охватывает водоносные комплексы меловых отложений. Значение дренажа здесь уменьшается, но он по-прежнему имеет место. Проведение нижней границы этой зоны затруднительно из-за отсутствия необходимой информации.

Особенности водоносных горизонтов верхнего гидродинамического этажа. В пределах описываемой территории к данному гидродинамическому этажу отнесены подземные воды средне-верхнечетвертичных, верхнечетвертичных, современных аллювиальных и верхнеплиоценовых локально-водоносных отложений. Эти горизонты содержат грунтовые и слабонапорные воды и залегают первыми от поверхности. Основным источником питания подземных вод верхнего гидродинамического этажа являются атмосферные осадки. Широкое развитие на территории эоловых песков, обладающих высокими

фильтрационными свойствами, способствует тому, что выпадающие в зимне-весенний период осадки почти полностью идут на восполнение запасов грунтовых вод. Осадки, выпадающие в летний период, в питании подземных вод не участвуют, так как полностью расходуется на испарение. Питание также происходит за счет фильтрации поверхностных вод рек Сырдарья и Куандарья. В целом воды верхней зоны носят застойный характер, что обусловлено равнинным рельефом и высокой испаряемостью. Водообмен происходит крайне медленно, что сильно влияет на повышение минерализации вод. Кроме того, на пониженных равнинных участках образуются солончаки и солонцы, которые, промываясь инфильтрующимися атмосферными осадками, являются источником поступления в грунтовые воды значительного количества легко растворимых натриевых солей. Наиболее интенсивно процессы засоления грунтовых вод происходят на участках с неглубоким (до 2 м) залеганием их уровня. Здесь широко распространено явление вторичного засоления почвы, то есть происходит интенсивное накопление солей в верхних горизонтах, куда они проникают по почвенным капиллярам вместе с водой, поступающей из неглубоко залегающих грунтовых вод.

В этих условиях в химическом составе грунтовых вод отмечается резкое преобладание анионов хлора, сульфатов и катионов натрия, как наиболее растворимых и обладающих высокой миграционной способностью. Воды всех горизонтов преимущественно солоноватые и соленые с минерализацией 5-20 г/л. Лишь в водоносном горизонте верхнечетвертичных-современных аллювиальных отложений в узкой полосе вдоль реки Сырдарья распространены менее минерализованные воды (1-3 г/л). Воды такой минерализации распространены в пределах песчаного массива Муюнкум, что обусловлено высокими фильтрационными свойствами залегающих с поверхностью эоловых песков.

Общее движение грунтовых вод ориентировано на запад, в сторону Аральского моря.

Особенности водоносных комплексов нижнего гидродинамического этажа. К нижней гидродинамической зоне относятся водоносные комплексы меловых отложений, образующих мощную (более 800 м) водонапорную систему. Формирование подземных вод в пределах данно-

го этажа происходит на протяжении длительного периода геологического развития региона, в течение которых отмечались многократные циклы (70-100 циклов) замещения морских вод пресными, чем и объясняется то, что в меловых отложениях седиментационные воды были полностью замещены инфильтрационными. Областью фильтрационного питания напорных вод меловых отложений являются предгорья юго-западного склона хр. Каратау, где водовмещающие породы выходят на поверхность, либо перекрыты мало мощным слоем водонепроницаемых неоген-четвертичных отложений. Модули питания здесь составляют 10-100 м³/сут. с км². Питание подземных вод на описываемой территории происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, поглощения поверхностного стока рек Сырдарья, Куандарья и временных потоков, а также частично за счет подтока трещинных вод из палеозойских пород, который весьма значителен.

Химический состав подземных вод меловых отложений определяется характером и степенью засоления водовмещающих пород и перекрывающих их отложений. По химическому составу воды нижнего гидродинамического этажа сульфатно-хлоридные натриевые, что вполне закономерно в связи с большой удаленностью района работ от области питания. При движении подземных вод к области разгрузки происходит выщелачивание натриевых солей, хлора и сульфатов, а ионы кальция и магния адсорбируются глинами. Значительное увеличение минерализации подземных вод в пределах исследуемой территории и значительный рост содержания ионов хлора и натрия обусловлены и более затрудненными условиями движения по мере продвижения вод области разгрузки, что связано с геологическими особенностями района. На описываемой территории наблюдается закономерное увеличение степени минерализации подземных вод по мере их продвижения к области разгрузки – с юго-востока на северо-запад от 1,2 г/л до 2,2 г/л. Наблюдается также некоторое увеличение минерализации подземных вод с глубиной. Причем в южной части описываемой территории это проявляется меньше, чем в северной.

Движение подземных вод происходит в западно-северо-западном направлении, в сторону Аральского моря. Разгрузка происходит, в основном, скрытым путем в вышележащие отложения.

Из вышесказанного следует, что в Сырдарьинском артезианском бассейне существуют области питания одновременно всех горизонтов и комплексов посредством инфильтрационного питания и последующего перетекания вниз. Также существуют области только обратного знака перетекания – разгрузки комплексов вверх и, в конечном счете, испарения.

В пределах описываемой территории меловые водоносные комплексы представляют собой единую гидродинамическую систему, мощность которой колеблется от 350 до 1 350 м. Рассматриваемая территория является для них областью питания, разгрузки и транзита, причем здесь выделяются три области, различающиеся по указанным признакам.

Северо-восточная часть территории является для Мынбулакского артезианского бассейна областью разгрузки. Разгрузка подземных вод осуществляется за счет многочисленных восходящих родников из самоизливающихся скважин. Частично разгрузка происходит, вероятно, и по Главному Каратаускому разлому.

Левобережье реки Сырдарья является для меловых водоносных комплексов Кызылкумского артезианского бассейна зоной транзита. Движение подземных вод здесь направлено с юго-востока на северо-запад в сторону Аральского моря.

Правобережье в пределах Нижнесырдарьинского поднятия (зона выхода меловых пород на поверхность), занимающего преобладающую часть рассматриваемой территории, отличается более сложными условиями. Абсолютные отметки уровней здесь гораздо выше, чем в Мынбулакской котловине и на юге описываемой территории. Об этом свидетельствует положение уровней по колодцам. Величина минерализации подземных вод, составляющая 1,6-2,5 г/л и отсутствие пресных вод, характерно для областей питания. Это объясняется относительно высокой засоленностью пород и их слабой проницаемостью. Вероятно, площадь Нижнесырдарьинского поднятия является и зоной транзита для части Кызылкумского бассейна, располагающегося восточнее поднятия. Воды этой части бассейна при общем направлении движения в этой части на запад, перетекают по нижнемеловым отложениям

через Нижнесырдарьинское поднятие далее на запад в сторону общего направления движения. В этом случае вполне объяснимо наличие слабосоленоватых (1,8-2,5 г/л) вод в пределах поднятия на глубинах 200-400 м. Следует добавить, что в пользу области питания говорит факт наличия пресной (0,37-0,7 г/л) верховодки, но она располагается на очень высоких (190-220 м) абсолютных отметках и не связана общей условной поверхностью с грунтовыми и напорными водами (абсолютные отметки последних 100-120 м).

При общей относительно невысокой (преимущественно 2-5 г/л) минерализации подземных вод меловых отложений на площади поднятия аномальной выглядит полоса распространения высокоминерализованных вод. Полоса эта начинается от пос. Джусалы (8-12 г/л) и прослеживается на запад-северо-запад до ж/д Дюрменьютюбе. Здесь на глубинах 90-140 м вскрыты воды с минерализацией 18,4-19,2 г/л. Причем абсолютные отметки уровней здесь ниже, чем на прилегающих с севера и юга площадях. Вероятно, что здесь имеет место зона застойного режима, а может и скрытой разгрузки подземных вод. Это как бы подземный водораздел.

Для подземных вод меловых водоносных комплексов на рассматриваемой площади прослеживается площадная и вертикальная гидрохимическая зональность.

Наименее минерализованные (0,1-1,5 г/л) подземные воды приурочены к Мынбулакской впадине и южной части описываемой территории. На остальной площади отмечается постепенное увеличение минерализации на юго-запад от 1,6-1,8 г/л до 5,0-7,0 г/л.

В вертикальном разрезе отмечается прямая вертикальная гидрохимическая зональность. Так на 2^{-ой} площадке космодрома Байконур опробованы подземные воды в интервалах 230-140 м, 342-367 м, 525-535 м и 606-620 м. Минерализация их составила, соответственно, 3,5; 4,4; 7,2; 14,1 г/л.

В г. Байконур, при минерализации вод верхнемеловых отложений 1,5-1,6 г/л (интервал 100-140 м), в скважине глубиной 550 м вода имеет минерализацию 8,52 г/л.

РГП «ЦАФИ» НКА РК

Поступила 02.07.07г.