

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 2, Number 440 (2020), 114 – 122

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.38>

UDC 550.837.82

Y. Z. Murtazin¹, O. L. Miroshnichenko¹, L. Y. Trushel¹, V. A. Smolyar², V. M. Mirilas³

¹Satbayev University, Ahmetsafin Institute of Hydrogeology
and Environmental Geoscience, Almaty, Kazakhstan;

²"Kazecoproekt", Almaty, Kazakhstan;

³Ariel University, Israel.

E-mail: ye_murtazin@list.ru; o_mirosh@mail.ru; lydmila_y_t@mail.ru,
smolyar@mail.ru, vladimirmster@gmail.com

CREATION OF COMPUTER MODELS OF THE MAPS OF GROUNDWATER AVAILABILITY IN KAZAKHSTAN

Abstract. The impact of anthropogenic load and climate change on groundwater requires a comprehensive study of the underground hydrosphere. The large volume of various data used for solving this problem requires development of specialized information systems.

The geoinformation and analytical system "Resources and reserves of groundwater in the Republic of Kazakhstan" developed by the Institute of Hydrogeology and Geoecology includes computer models of the maps of groundwater resources availability in Kazakhstan. They serve as a basis for development of specialized hydrogeologic maps.

Computer models of the maps are created using the geographic information system and included in the graphic database. They are built in the same coordinate system, with the same scale and using a single cartographic basis. The values of resources are calculated for various territorial objects (hydrogeological basins, water management basins, administrative districts) and included in the semantic database. Graphic objects displayed on a map and tables of the semantic database may be linked up after introduction of an identifier field. The maps of groundwater resources availability are built within the boundaries of administrative regions and contain areas singled out based on operational reserves availability and forecast resources for various purposes.

Attributive data are presented in the maps in the form of diagrams of resources distribution according to various criteria (mineralization, purpose, category etc.).

The geoinformation and analytical system of resources and reserves of groundwater in Kazakhstan is also supplemented with computer models of the maps of natural reserves, forecast resources, operational reserves of groundwater in Kazakhstan, as well as with computer models of the maps of groundwater resources availability in the Republic of Kazakhstan. It is an open information system that will be supplemented with map options developed based on various methods of groundwater resources calculation.

Key words: groundwater, information systems, groundwater resources.

Climate change and significant anthropogenic impact have a considerable influence on the distribution, formation and conditions of groundwater occurrence. Therefore, much attention is currently being paid to the study of the processes taking place in the underground hydrosphere. An information system may provide a comprehensive picture of groundwater interaction with other environmental objects.

One of examples is the Global Groundwater Information System created by the IGRAC [1]. The AquaBase geocological monitoring system is designed for analysis of groundwater resources data [2]. The US National Groundwater Information System contains materials about groundwater resources and methods for its assessment [3]. The groundwater data are included in the Atlas of Groundwater-Dependent Ecosystems of Australia [4]. A dedicated information system was designed to assess and comprehensively manage the groundwater resources of China [5]. A thematic map of the groundwater potential of West Bengal in India was prepared using the ERDAS Imagine and ArcGIS programs [6]. A cartographic

information system and modeling of geo-filtration processes were used to create a thematic map for assessing soil salinity hazard in the Jezre’el Valley in Israel and information support for planning an effective drainage system to prevent soil salinization of irrigated lands [7]. A detailed overview of the information systems including groundwater data is presented in our article [8]. The geoinformation and analytical system “Resources and reserves of groundwater in the Republic of Kazakhstan” developed by the Institute of Hydrogeology and Geoecology includes document databases, bases of graphic and semantic data and bases of mathematical models [9,10]. The system also contains such elements as computer models of the maps of groundwater resources and groundwater availability in Kazakhstan [11].

Depending on the methods used for calculating hydrogeological parameters there are many options for building maps of groundwater resources and groundwater availability [12]. By computer models of the maps in the geoinformation and analytical system we mean the maps built in the same coordinate system, with the same scale, using a single cartographic basis and containing areal objects the attribute information of which should be taken from the data on groundwater resources and reserves retrieved from the tables of the semantic database. Maps are built using the geographic information system. It should be noted that groundwater resources and reserves can be systematized according to various criteria [13]. The structure of the presented information system reflects one of the options for their division into classes (figure 1).

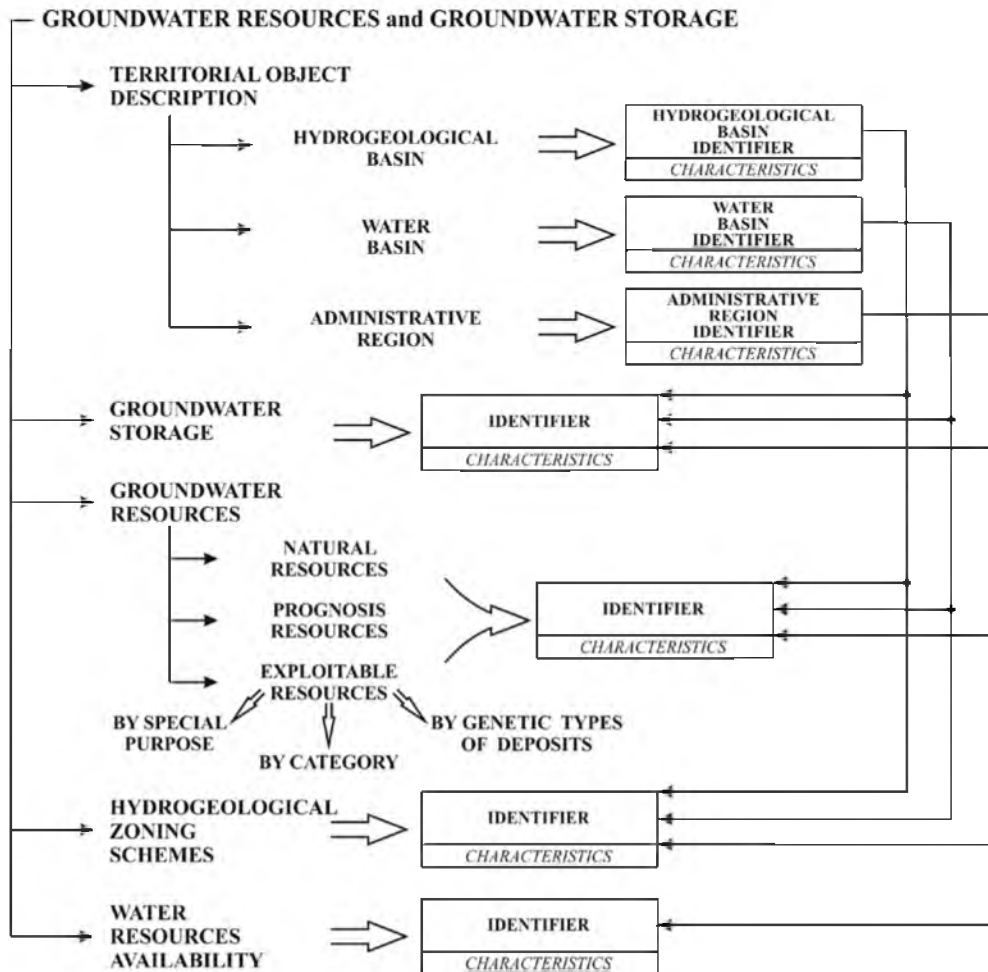


Figure 1 – Information structure of the “Groundwater Resources and Reserves” block

Groundwater resources are calculated for various territorial objects: hydrogeological basins, water management basins, administrative districts. Traditionally, we distinguish natural, forecast and operational groundwater resources. The maps are built according to this classification [14]. The maps of groundwater resources availability are built within the boundaries of administrative regions.

The maps show the diagrams reflecting the values of explored operational reserves and forecast groundwater resources differentiated in terms of mineralization, intended use and others. It should be

emphasized that the basis for computer models of the maps «Resources of groundwater in Kazakhstan» и «Groundwater availability in Kazakhstan» is formed by the data from the tables of the semantic database.

Computer models of the maps of natural groundwater reserves distribution across hydrogeological massifs and basins of the plain territory of the Republic of Kazakhstan. According to the completed hydrogeological zoning based on the geological and structural principle, hydrogeological structures are divided into two main categories of structures - hydrogeological massifs and hydrogeological basins which are represented as the main units of hydrogeological zoning of the first order [15,16]. Natural groundwater reserves distribution across hydrogeological massifs and basins of the plain territory of the Republic of Kazakhstan is reflected on a corresponding map of the information system (figure 2).



Figure 2 – Map of natural groundwater reserves distribution across hydrogeological massifs and basins of the plain territory of the Republic of Kazakhstan

Computer models of the maps “Forecast Groundwater Resources in Kazakhstan”. The maps were designed based on the classification of groundwater by its mineralization. The maps were built for the zones associated with water management basins, hydrogeological basins and administrative regions. To ensure a better visual presentation of the data the maps include diagrams of forecast resources distribution by mineralization across certain selected territories. A water management basin is a river basin within its natural boundaries or a part thereof characterized by uniform natural conditions [15, 16]. There are 8 water basins in the territory of Kazakhstan. The largest volume of forecast fresh groundwater resources is concentrated within the Balkhash-Alakol Water Basin and constitutes about 37% of the total volume of forecast groundwater resources [14,17]. The map of distribution of forecast groundwater resources of Kazakhstan across water management basins with consideration of its mineralization is introduced in the system.

The territory of the Republic of Kazakhstan consists of 14 administrative regions. Uneven distribution of groundwater resources in the republic is associated with the peculiarities of geological structure, hydrogeological and climatic conditions. The map of distribution of forecast groundwater resources across administrative regions of the Republic of Kazakhstan with consideration of their mineralization was introduced in the information system [14,18].

Classification of hydrogeological groundwater basins was carried out based on two main criteria: form of bodies of groundwater accumulation (or types of accumulation) and dynamics (groundwater head and direction of groundwater runoff). In [19] hydrogeological zoning of the territory of Kazakhstan was

carried out according to the following system of subordinate taxonomic units of regional zoning: region, basins of first and second order acting as separate hydrogeological structures with the same or similar conditions for formation of both free and pressure groundwater.

The presented principles of hydrogeological zoning in Kazakhstan allowed identification of the following seven hydrogeological regions. The regions, in their turn, are divided into basins of the first order which are complex groundwater basins. In Kazakhstan, based on the principles of hydrogeological zoning, there are 21 basins of the first order. Two groups of hydrogeological structures of the second order can be distinguished based on the conditions of distribution and circulation within these systems. The system is also supplemented with maps of forecast groundwater resources distribution with consideration of their mineralization across hydrogeological regions, structures of the first and second orders of Kazakhstan [14].

Computer models of the maps “Operational Groundwater Resources in Kazakhstan”. Operational groundwater reserves are estimated for administrative regions, water management basins and hydrogeological structures (basins). Each type of territorial objects has its own models of the maps of operational groundwater reserves distribution by intended use, genetic types of deposits and categories. The maps of operational groundwater reserves distribution are built for the water management basins. The majority of groundwater deposits were explored for utility and drinking water supply. The information system was provided with the maps of operational groundwater reserves distribution by intended use within the territory of the water management basins of the Republic of Kazakhstan [14,20].

According to the existing classification and based on a set of geological and hydrogeological factors, groundwater deposits of Kazakhstan are divided into five genetic types. Almost a quarter of groundwater deposits are associated with river valleys. Total operational reserves constitute 21 % of the explored reserves of Kazakhstan. Most of operational groundwater reserves are concentrated in alluvial cones of aggradational benches and intermountain troughs of South and South-East Kazakhstan. It is shown on the map of operational groundwater reserves distribution by genetic types of deposits within the territory of the water management basins of the Republic of Kazakhstan which was introduced into the information system.

Depending on a degree of exploration the operative reserves can be divided into four categories – A, B, C₁ and C₂. The largest operational groundwater reserves are concentrated in the Balkash-Alakol water basin. The information system was provided with the map of operational groundwater reserves distribution with consideration of their categorization within the territory of the water management basins of the Republic of Kazakhstan [14].

The maps of operational groundwater reserves distribution are built for the administrative regions of the Republic of Kazakhstan. Their estimation was carried out according to their intended use, genetic types of deposits and categories. The largest operational groundwater reserves (16721.778 thousand m³/day) are typical for the Almaty Region. These data are presented in the information system in the form of the map of operational groundwater reserves distribution by intended use.

The largest explored operational reserves are concentrated in the Almaty Region in alluvial cones of aggradational benches and intermountain troughs (14550,327 thousand m³/day). The map of operational groundwater reserves distribution by genetic types of deposits with a breakdown into administrative regions of the Republic of Kazakhstan was introduced into the information system [14]. The maps of operational groundwater reserves distribution are built by hydrogeological structures of the Republic of Kazakhstan. Maps of operational groundwater reserves distribution were introduced into the information system with consideration of the intended purpose and categorization by hydrogeological structures (regions) of the Republic of Kazakhstan; maps of operational groundwater reserves distribution across hydrogeological basins of the first and second orders with consideration of the intended purpose and categorization of the Republic of Kazakhstan.

Computer models of the maps of groundwater resources availability in the Republic of Kazakhstan When saying “the availability of utility and drinking groundwater to the population” we mean as a possible degree of satisfaction of current and future needs of the population in drinking water through forecast resources and explored groundwater operational reserves [17]. The map of availability of forecast resources and explored groundwater operational reserves uses bar diagrams for showing the ratio of forecast resources, operational reserves and groundwater extraction values (figure 3). The map of groundwater resources availability [20] was also introduced in the information system. Along with circular

diagrams which indicate the percentage of values of forecast groundwater resources with different mineralization and groundwater operational reserves of various categories, it also shows the data on areas, population, operational groundwater reserves for utility and drinking purposes per capita across all administrative regions. The territory of Kazakhstan is fully provided with forecast and proven groundwater reserves of different intended use, although its uneven distribution causes shortage of fresh groundwater in a number of localities.

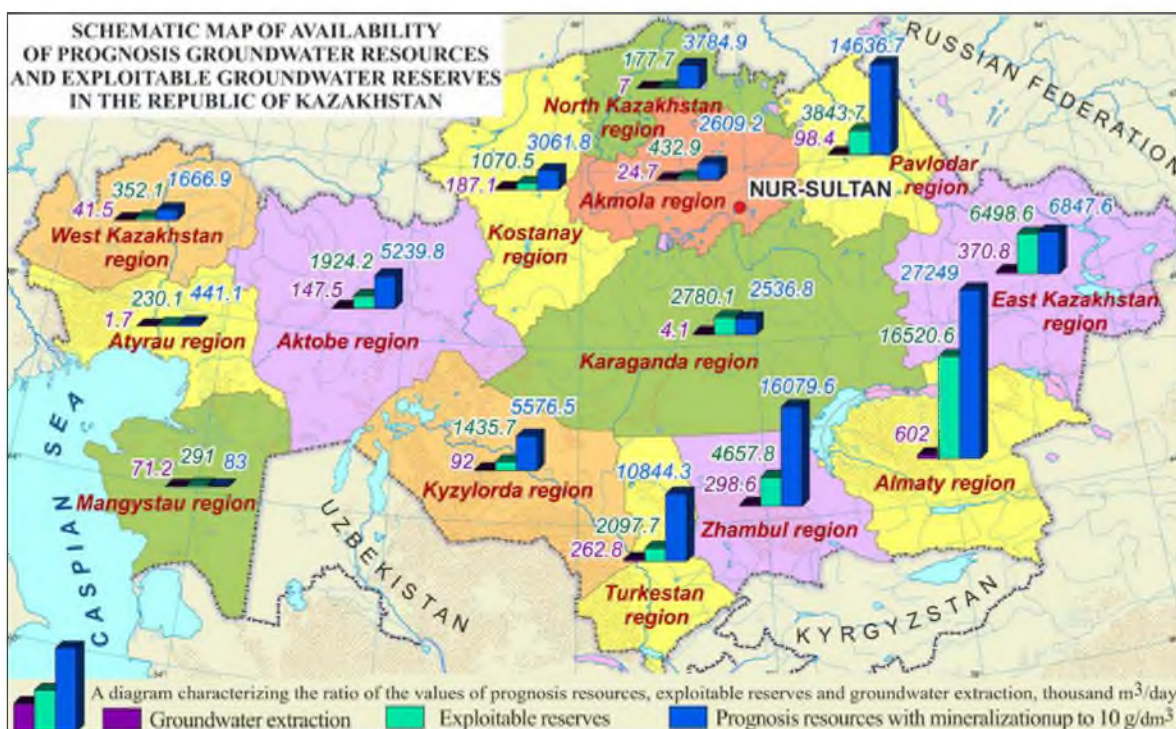


Figure 3 – Map of availability of forecast resources and explored groundwater operational reserves in the Republic of Kazakhstan

When creating computer models of the maps the semantic database was completed using Excel [21] whereas the graphic database – using ArcGIS and MapInfo applications [22,23].

Therefore, the geoinformation and analytical system of resources and reserves of groundwater in Kazakhstan is now supplemented with computer models of the maps of natural reserves, forecast resources, operational reserves of groundwater in Kazakhstan, as well as with computer models of the maps of groundwater resources availability in the Republic of Kazakhstan.

The created models of the maps can be used by regional and republican administrative structures for forecasting the development of regional economies, planning economic activities and initiating the environmental measures.

Е. Ж. Мургазин¹, О. Л. Мирошниченко¹, Л. Ю. Трушель¹, В. А. Смоляр², В. М. Мирлас³

¹Satbayev University, Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Алматы, Қазақстан;

²«Казэкопроект», Алматы, Қазақстан;

³Ариэль университеті, Израиль

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ КАРТАСЫНЫҢ КОМПЬЮТЕРЛІК ПІШІНДЕРІН ҚҰРАСТЫРУ

Аннотация. Жер асты суларына антропогендік жүктемелердің әсері және климаттың өзгеруі жер асты гидроферасын кешенді зерттеуді талап етеді. Осы міндетті шешу үшін тартылатын әр текті деректердің үлкен көлемі мамандандырылған ақпараттық жүйелерді құруды талап етеді.

Гидрогеология және геоэкология институтында құрылған «Қазақстан Республикасының жер асты суларының ресурстары мен қорлары» геоақпараттық-аналитикалық жүйесі жер асты суларының ресурстары мен Қазақстанның жер асты суларымен қамтамасыз ету карталарының компьютерлік макеттерін қамтиды. Олар мамандандырылған гидрогеологиялық карталарды жасау үшін негіз болып табылады.

Карталар гидрогеологиялық параметрлерді есептеудің қолданылатын әдістемелеріне байланысты құрылады және есептеу нәтижелерін көрсететін мазмұндық ақпаратпен қатар осы есептер негізінде жүргізілген қосымша мәліметтерді қамтиды.

Ақпараттық жүйеге дәстүрлі гидрогеологиялық көріністерді көрсететін жіктемеге сәйкес карталардың макеттері енгізілді. Жер асты суларының ресурстары мен қорлары әртүрлі белгілері бойынша жүйеленуі мүмкін. Ұсынылған ақпараттық жүйенің құрылымы оларды кластарға бөлу нұсқаларының бірін көрсетеді.

Карталардың компьютерлік макеттері геоақпараттық жүйе құралдарымен құрылады және графикалық деректер базасына кіреді. Олар бір координат жүйесінде, бір масштабта, бірінғай картографиялық негізде салынған. Ресурстардың шамасы әртүрлі аумақтық объектілер (гидрогеологиялық бассейндер, су шаруашылығы бассейндері, әкімшілік аудандар) шеңберінде есептелген және семантикалық деректер базасында ұсталады. Картада бейнеленетін графикалық объектілердің және семантикалық деректер базасы кестелерінің байланысы идентификатор-өрісін енгізу жолымен жүзеге асырылады. Жер асты суларымен қамтамасыз ету карталары әкімшілік облыстардың шекарасында салынған және пайдалану қорларымен және әртүрлі мақсаттар үшін болжамды ресурстармен қамтамасыз етілуі бойынша бөлінген аймақтарды қамтиды.

Атрибуттық деректер карталарда әртүрлі белгілер (минералдану, нысаналы мақсаты, санаты және т.б.) бойынша ресурстарды бөлу диаграммалары түрінде ұсынылған.

Қазақстанның жер асты суларының ресурстары мен қорларының геоақпараттық-талдамалық жүйесі Қазақстанның жер асты суларының табиғи қорлары, болжамды ресурстары, пайдалану қорлары карталарының компьютерлік макеттерімен, сондай-ақ Қазақстан Республикасының жер асты суларымен қамтамасыз ету карталарының компьютерлік макеттерімен толықтырылған.

Табиғи қорларды бөлу картасы гидрогеологиялық алаптар мен жазық аумақтардың бассейндері шегінде қалыптасқан. Болжамдық ресурстар карталары жер асты суларының әр түрлі аудандар шеңберінде минералдану бойынша бөлінуін көрсетеді. Тұщы жер асты суларының негізгі ресурстары (59,3%) оңтүстік өңірде, Алматы, Жамбыл, Қызылорда және Түркістан облыстарында шоғырланған, орталық, солтүстік және батыс өңірлер болжамды ресурстардың төмен шамасымен ерекшеленеді. Жер асты суларының болжамды пайдалану ресурстары I және II реттік гидрогеологиялық бассейндер бойынша бағаланды.

Аумақтық объектілердің әрбір түрі үшін пайдалану қорларын нысаналы мақсаты, кен орындарының генетикалық типтері, санаттары бойынша бөлу карталарының макеттері салынған. Жер асты сулары кен орындарының негізгі саны шаруашылық-ауыз сумен жабдықтау үшін, ал кейбір жағдайларда – шаруашылық-ауыз сумен жабдықтау үшін және басқа да мақсаттар үшін – жерді суландыру немесе техникалық сумен жабдықтау үшін барланған. Жер асты суларының пайдаланылатын қорларының негізгі көлемі Оңтүстік және Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның тау бөктеріндегі шлейфтер мен тауаралық ойпаттарды шығару конустарында шоғырланған. Жер асты суларының ең көп пайдалану қоры (16721,778 мың м³/тәул) Алматы облысына, ал ең азы Солтүстік Қазақстан облысына тән.

Жер асты суларымен қамтамасыз ету карталары болжамды ресурстар мен жер асты суларының барланған пайдалану қорлары есебінен халықтың ауыз суга ағымдағы және перспективалық қажеттіліктерін қанағаттандыру дәрежесін көрсетеді. Карталар минералдануы әртүрлі жер асты суларының болжамды ресурстары шамаларының, әртүрлі санаттағы жер асты суларының пайдаланылатын қорларының, жер асты суларын алудың арақатынасының диаграммаларын қамтиды. Қазақстан аумағының әртүрлі нысаналы мақсаттағы жер асты суларының болжамды және бекітілген қорларымен қамтамасыз етілуі туралы қорытынды жасалуы мүмкін, бірақ олардың таралуының біркелкі болмауы бірқатар аудандарда тұщы жер асты суларының тапшылығын тудырады.

Салынған карталардың макеттерін облыс экономикасының дамуын болжау, шаруашылық қызметті жоспарлау, экологиялық іс-шараларды әзірлеу процесінде облыстық және республикалық әкімшілік құрылымдар пайдалана алады.

Ақпараттық жүйе ашық болып табылады және жер асты сулары ресурстарын есептеудің әртүрлі әдістемелерінің негізінде салынған карталардың нұсқаларымен толықтырылатын болады.

Түйін сөздер: жер асты сулары, ақпараттық жүйелер, жер асты суларының ресурстары.

Е. Ж. Муртазин¹, О. Л. Мирошниченко¹, Л. Ю. Трушель¹, В. А. Смоляр², В. М. Мирлас³

¹Satbayev University, Институт гидрогеологии и геоэкологии им. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан;

²«Казэкопроект», Алматы, Казахстан;

³Университет Ариэль, Израиль

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МАКЕТОВ КАРТ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАЗАХСТАНА ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

Аннотация. Воздействие антропогенных нагрузок и изменения климата на подземные воды требует комплексного изучения подземной гидросферы. Привлекаемый для решения этой задачи большой объем разнородных данных требует создания специализированных информационных систем.

Создаваемая в Институте гидрогеологии и геоэкологии геоинформационно-аналитическая система «Ресурсы и запасы подземных вод Республики Казахстан» включает компьютерные макеты карт ресурсов подземных вод и обеспеченности подземными водами Казахстана. Они являются основой для создания специализированных гидрогеологических карт.

Карты строятся в зависимости от используемых методик расчетов гидрогеологических параметров и наряду с содержательной информацией, отражающей результаты вычислений, включают дополнительные сведения, на основании которых эти расчеты проводились.

В информационную систему внесены макеты карт в соответствии с классификацией, отражающей традиционные гидрогеологические представления. Ресурсы и запасы подземных вод могут быть систематизированы по разным признакам. Структура представленной информационной системы отражает один из вариантов их разделения на классы.

Компьютерные макеты карт строятся средствами геоинформационной системы и входят в базу графических данных. Они построены в одной системе координат, одном масштабе, на единой картографической основе. Величины ресурсов рассчитаны в рамках различных территориальных объектов (гидрогеологических бассейнов, водохозяйственных бассейнов, административных районов) и содержатся в базе семантических данных. Связь отображаемых на карте графических объектов и таблиц базы семантических данных осуществляется путем введения поля-идентификатора. Карты обеспеченности подземными водами построены в границах административных областей и содержат регионы, выделенные по обеспеченности эксплуатационными запасами и прогнозными ресурсами для различных целей.

Атрибутивные данные представлены на картах в виде диаграмм распределения ресурсов по различным признакам (минерализации, целевому назначению, категории и др.).

Геоинформационно-аналитическая система ресурсов и запасов подземных вод Казахстана пополнена компьютерными макетами карт естественных запасов, прогнозных ресурсов, эксплуатационных запасов подземных вод Казахстана, а также компьютерными макетами карт обеспеченности подземными водами Республики Казахстан.

Карта распределения естественных запасов сформирована в пределах гидрогеологических массивов и бассейнов равнинных территорий. Карты прогнозных ресурсов отображают распределение подземных вод по минерализации в рамках различных площадей. Основные ресурсы пресных подземных вод (59,3%) сосредоточены в южном регионе: в Алматинской, Жамбылской, Кызылординской и Туркестанской областях, центральные, северные и западные регионы отличаются низкой величиной прогнозных ресурсов. Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод оценивались по гидрогеологическим бассейнам I и II порядков.

Для каждого типа территориальных объектов построены макеты карт распределения эксплуатационных запасов по целевому назначению, генетическим типам месторождений, категориям. Основное количество месторождений подземных вод разведано для хозяйственно-питьевого водоснабжения, а в ряде случаев – совместно для хозяйственно-питьевого и для других целей – орошения земель или технического водоснабжения. Основная величина эксплуатационных запасов подземных вод сосредоточена в конусах выноса предгорных шлейфов и межгорных впадин Южного и Юго-Восточного Казахстана. Наибольшие эксплуатационные запасы подземных вод (16721,778 тыс.м³/сут) характерны для Алматинской области, а наименьшие – для Северо-Казахстанской области.

Карты обеспеченности подземными водами отражают степень удовлетворения текущих и перспективных потребностей населения в питьевой воде за счет прогнозных ресурсов и разведанных эксплуатационных запасов подземных вод. Карты включают диаграммы соотношения величин прогнозных ресурсов подземных вод с различной минерализацией, эксплуатационных запасов подземных вод различных категорий,

извлечения подземных вод. Может быть сделан вывод об обеспеченности территории Казахстана прогнозными и утвержденными запасами подземных вод различного целевого назначения, хотя их неравномерность распространения создает в ряде районов дефицит пресных подземных вод.

Созданные макеты карт могут использоваться областными и республиканскими административными структурами в процессе прогнозирования развития экономики областей, планирования хозяйственной деятельности, разработки экологических мероприятий.

Информационная система является открытой и будет дополняться вариантами карт, построенными на основании различных методик расчета ресурсов подземных вод.

Ключевые слова: подземные воды, информационные системы, ресурсы подземных вод.

Information about authors:

Murtazin Yermek, Deputy Director of Satbayev University, Ahmetsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, PhD; ye_murtazin@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7404-4298>

Miroshnichenko Oxana, Leading Researcher of Satbayev University, Ahmetsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, PhD; o_mirosh@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0057-6734>

Trushel Lyudmila, Senior Researcher of Satbayev University, Ahmetsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, PhD; lydmila_y_t@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9171-2761>

Smolyar Vladimir, Leading Researcher of “Kazecoproekt” LLP, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; v_smolyar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9419-048X>

Mirlas Vladimir, Researcher of Ariel University (Israel); Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; vladimirmster@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3117-0331>

REFERENCES

[1] International Groundwater Resources Assessment Centre (2019). Global Groundwater Information System. <https://www.un-igrac.org/global-groundwater-information-system-ggis>

[2] Geolink Consulting (2019). Information and analytical system AquaBase. <http://www.geolink-consulting.ru/products/aquabase/>

[3] USGS (2020). Groundwater Data for the Nation. National Water Information System: Web Interface. <https://waterdata.usgs.gov/nwis/gw>

[4] Groundwater Dependent Ecosystems Atlas. <http://www.bom.gov.au/water/groundwater/gde/map.shtml>

[5] Zheng J. (2016) Towards Integrated Groundwater Management in China // In Book: Integrated Groundwater Management. Concepts, Approaches and Challenges. Springer International Publishing, Germany. DOI: 10.1007/978-3-319-23576-9, ISBN: 978-3-319-23575-2

[6] Ghosh P., Bandyopadhyay S., Jana N. (2016). Mapping of groundwater potential zones in hard rock terrain using geoinformatics: a case of Kumari watershed in western part of West Bengal, Modeling Earth Systems and Environment, Vol.2, 1: 1-12. DOI 10.1007/s40808-015-0044-z. ISSN 2363-6203

[7] Mirlas V. (2012). Assessing soil salinity hazard in cultivated areas using MODFLOW model and GIS tools: A case study from the Jezre'el Valley, Israel, Agriculture Water Management, 109: 144-154. DOI:10.1016/j.agwat.2012.03.003. ISSN: 0378-3774

[8] Murtazin E., Miroshnichenko O., Trushel L. (2018) Methods of making of geoinformational and analytical system of groundwater resources in Kazakhstan, News of Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 431: 21–31. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.6>. ISSN 2224-5278

[9] Veselov V., Panichkin V. (2004) Geoinformational-mathematical simulation of hydrogeological conditions of Eastern Priaralye. Complex, Kazakhstan. ISBN: 9965-471-92-4.

[10] Murtazin E., Miroshnichenko O., Trushel L. (2019) Structure of geoinformational and analytical system “Groundwater resources and reserves of the republic of Kazakhstan”, News of the Academy of sciences of the Republic Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 3: 21-29. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.63>, ISSN 2224-5278

[11] Murtazin E., Miroshnichenko O., Trushel L. Description of the informational system of groundwater resources and reserves of Kazakhstan. Proceedings of 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019, Albena, Bulgaria. Vol. 19, Issue 1.2. P. 137-144. ISBN: 978-619-7408-77-5, ISSN: 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem2019/1.2

[12] Yazvin A.L. (2015) Resource potential of fresh groundwaters of Russia (solution of modern problems of geological study) [Resursnyi potencial presnykh podzemnykh vod Rossii (reshenie sovremennykh problem geologicheskogo izucheniya)]. Dissertation for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, M., Russia (in Russ.).

[13] Veselov V.V. (2002) Hydrogeological zoning and regional assessment of groundwater resources in Kazakhstan [Gidrogeologicheskoye raionirovaniye i regional'naya otcenka resursov podzemnykh vod Kazakhstana]. Gylym, Kazakhstan. ISBN: 5-628-01116-9 (in Russ.).

[14] Smolyar V.A., Burov B.V., Mustafayev S.T. (2012). Groundwater resources of the Republic of Kazakhstan, In Book: Water Resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management [Resursy podzemnykh vod Respubliki Kazakhstan v knige Vodnye resursy Kazakhstana: otcenka, prognoz, upravlenie]. Vol. VIII. Gylym, Kazakhstan. ISBN: 978-601-7150-27-3 (in Russ.).

[15] Sydykov Zh.S., Shlygina V.F. (1998). Groundwater of Kazakhstan. Structural and hydrogeological base and systematization [Strukturno-gidrogeologicheskaya osnova i sistematika]. Gylym, Kazakhstan. ISBN: 5-628-02250-0 (in Russ.).

[16] Absamenov M.K., Mukhamedzhanov M.A., Sydykov Zh.S., Murtazin E.Zh. (2017) Groundwater of Kazakhstan – a strategic resource for water security of the country [Podzemnyye vodyi Kazakhstana – strategicheskii resurs vodnoy bezopasnosti strany]. Nuray print service, Kazakhstan. ISBN: 978-601-280-826-1 (in Russ.).

[17] Smolyar V.A., Burov B.V., Veselov V.V. (2002). Water resources of Kazakhstan (Surface and groundwater, current state) [Vodnyye resursy Kazakhstana (poverhnostnyye i podzemnyye vodyi, sovremennoe sostoyanie)]. Gylym, Kazakhstan. ISBN: 9965-07-125-X (in Russ.).

[18] Smolyar V.A., Isayev A.K. (2016) Undiscovered potential groundwater resources and usable groundwater reserves and their distribution over the territory of Kazakhstan [Prognoznyye resursy i ekspluatatsionnyye zapasyi podzemnykh vod i ih raspredelenie po territorii Kazakhstana], Materials of the International scientific-practical conference “Water resources of Central Asia and their use”, devoted to summing up of the "Water for Life" decade declared by the United Nations, Almaty, Kazakhstan, Book 2. P. 238-246. ISBN: 978-601-7150-81-5 (in Russ.).

[19] Ostrovsky L.A., Antypko B.Ye., Konyukhova T.A. (1990) Methodical base of hydrogeological zoning of the USSR [Metodicheskie osnovy gidrogeologicheskogo rayonirovaniya territorii SSSR]. Nedra, Moscow, USSR (in Russ.).

[20] Scientific- Information Center of the Interstate Coordination Water Commission of the Central Asia (2016). General integrated water use and protection plan in the Republic of Kazakhstan, www.eecca-water.net/content/view/7960/12/lang_russian/

[21] Microsoft (2020). Microsoft Office. <https://www.office.com>

[22] ESRI (2020). ArcGIS. <https://www.esri.com>

[23] ESTI Map (2020). MapInfo Pro. www.mapinfo.ru