

УДК 550.837.82

В.Ю. ПАНИЧКИН<sup>1</sup>, О.Л. МИРОШНИЧЕНКО<sup>2</sup>

## КОНЦЕПЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СЫРДАРЬИНСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Жер асты суы ресурстарының тиімді пайдалану міндеттерін шешу үшін Сырдария артезиан алабы гидрогеологиялық жағдайларын геоақпараттық-математикалық үлгілеу тұжырымдамалары көрсетілген.

Разработаны концепции геоинформационно-математического моделирования гидрогеологических условий Сырдарьинского артезианского бассейна для решения задач рационального использования ресурсов подземных вод.

Conceptions of geoinformational-mathematical modeling of hydrogeological conditions of Syrdarinski artesian basin have been developed for solution of the groundwater resources efficient use tasks.

Исследования проводились в рамках Проекта «Решение задач рационального использования ресурсов подземных вод Сырдарьинского артезианского бассейна методами математического и геоинформационного моделирования», выполняемого по бюджетной программе «Грантовое финансирование научных исследований».

Дефицит водных ресурсов является важнейшей проблемой для Казахстана, большая часть территории которого расположена в аридной зоне [7, 8, 10]. Для ряда регионов, в число которых входит и территория Сырдарьинского бассейна, единственным надежным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения являются подземные воды. С ростом экономики Казахстана, увеличением населения эта проблема будет обостряться [6]. Решить ее можно только путем более полного использования ресурсов подземных вод. Но массивированный неконтролируемый отбор подземных вод может привести к ухудшению их качества, истощению запасов, негативно повлиять на поверхностные водотоки и водоемы, состояние растительного покрова и т.п. Необходимо учитывать также, что Сырдарьинский артезианский бассейн расположен на территории Казахстана и частично Узбекистана. Таким образом, проблема приобретает трансграничный характер.

Решение задач рационального использования ресурсов подземных вод Сырдарьинского артезианского бассейна, защиты их от истощения и загрязнения, оценки влияния на трансграничный подземный сток возможно только с применением методов геоинформационного и математического моделирования [7].

Подробно история изучения гидрогеологических условий Сырдарьинского артезианского бассейна начиная с 19 века рассматривается в [4]. В процессе исследований помимо традиционных использовались методы моделирования. Было создано несколько математических моделей гидрогеологических условий в пределах изучаемой территории. Взаимное расположение границ моделей, созданных ранее, приведено на рис. 1.

В 80-х годах прошлого столетия в Институте гидрогеологии и гидрофизики (ныне гидрогеологии и геоэкологии) им. У.М. Ахмедсафина выполнялись работы по оценке изменения гидрогеологических условий под воздействием прогнозируемого водоотбора [16]. Исследуемая территория ограничивалась на северо-востоке горами Каратау, на востоке-горами Коржантан, Чаткальским и Кураминским хребтами, на юге – горами Нуратау, Букантау и Султануиздаг, на западе – Арало-Кызылкумским валом, на севере – Нижнесырдарьинским поднятием (рис. 1). Целью

<sup>1,2</sup> Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Ч.Валиханова, 94. Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина.

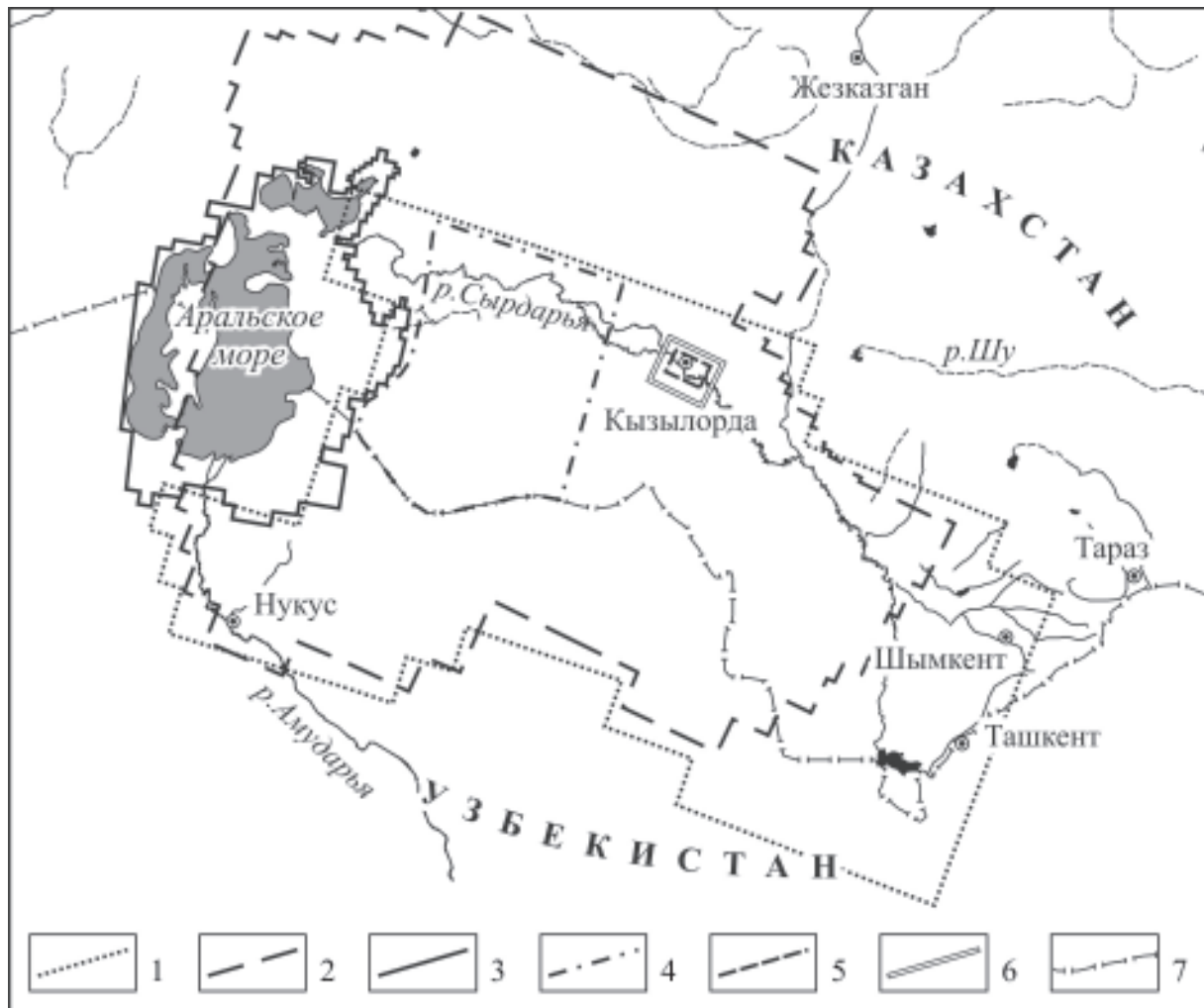


Рис. 1. Границы математических моделей гидрогеологических условий, созданных ранее в пределах Сырдарьинского артезианского бассейна

1 – граница модели Сырдарьинского артезианского бассейна (авторы: Шапиро С.М., Винникова Т.Н., Калмыкова Н.В. и др., 1988г.); 2 – граница модели Сырдарьинского и южной части Тургайского артезианского бассейнов (авторы: Веселов В.В., Мирлас В.М., Паничкин В.Ю. и др., 1992г.); 3 – граница модели котловины Аральского моря (авторы: Шапиро С.М., Винникова Т.Н., и др., 1980); 4 – граница модели Южного Приаралья (авторы: Винникова Т.Н., Золотарев В.П., Бочкарев А.В., Шапиро С.М.); 5 – граница модели Кызылжарминского месторождения подземных вод – 1991 год (авторы: Веселов В.В., Мирлас В.М., Трушель Л.Ю.); 6 – граница модели Кызылжарминского месторождения подземных вод – 2010 год (авторы: Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л., Трушель Л.Ю., Захарова Н.М.); 7 – граница Республики Казахстан

исследований являлось решение вопроса удовлетворения перспективной потребности региона в воде и оценка экологических последствий эксплуатации подземных вод, изучение и детализация закономерностей и источников формирования ресурсов подземных вод Сырдарьинского артезианского бассейна, оценка естественных запасов подземных вод. В качестве моделирующих устройств использовались ЭГДА 9-60 и БУСЭ-70. Для расчета балансовых составляющих потока подземных вод применялась также программа “ГИДРО”, разработанная ПГО “Казгидрогеология”.

Методом моделирования была выполнена оценка эксплуатационных запасов подземных вод по водоносным комплексам в неоген-четвертичных, верхнетурон-сенонских и верхнеальб-сенонских отложениях, разделенных миоцен-палеогеновыми и нижнетуронскими глинистыми отложениями. Гидрогеологические условия в разрезе были схематизированы в виде трех проницаемых слоев, разделенных двумя слабопроницаемыми. В плане моделируемая область была аппроксимирована ортогональной сеткой с шагом от 25 до 50 км. При моделировании прини-

малась предпосылка Мятиева-Гиринского, согласно которой в водоносных горизонтах поток подземных вод движется только в горизонтальном направлении, а в разделяющих слоях - в вертикальном.

На модели было выполнено три варианта прогнозов. Первый вариант заключался в прогнозе понижений уровня при сохранении водоотбора по состоянию на 01.01.1987г. сроком на 50 лет. Второй вариант предусматривал сохранение водоотбора на участках с неутвержденными запасами и задание кроме этого водоотбора в размере утвержденных эксплуатационных запасов подземных вод. В соответствии с третьим вариантом на модели задавался водоотбор с учетом перспективного водопотребления для хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения земель.

В 1989-1992г.г. в Институте гидрогеологии и гидрофизики им.У.М.Ахмедсафина и Казахской опытно-методической экспедиции была создана математическая модель гидрогеологических условий Восточного Приаралья [1-3, 5]. Цель моделирования - изыскание возможности коренного улучшения водоснабжения населения. Моделирование выполнялось на ЕС ЭВМ. Границами региональной модели Восточного Приаралья были выбраны: на юго-востоке - Каратауское поднятие, на востоке - предгорья хребта Каратау и большой Каратауский разлом, на северо-востоке - водораздел между Тургайским и Чу-Сарысуйским бассейнами. Северная граница определена расчетным путем - по радиусу влияния краевых водозаборов моделируемой территории. С северо-запада моделируемая территория ограничивается Чаграйским плато, Чушкакольским кряжем и Мугоджарами. Западная граница модели проходит по валу Архангельского, пересекающему Аральское море, и далее, по его продолжению - Арало-Кызылкумскому валу. В качестве южной границы модели приняты горы Букантау и Нуратау (рис. 1). В результате проведенной схематизации в исследуемом регионе в разрезе были выделены четыре водоносных комплекса: палеоген-неоген-четвертичный, верхнетурон-сенонский, верхнеальб-сеноманский и нижне-среднеальб-юрский, взаимодействующие между собой через три разделяющих слоя. Моделируемая область аппроксимировалась неравномерной ортогональной сеткой. Шаг сети изменялся от 5 - 10 км в центральной части области и в местах расположения основных водозаборов до 40 км по периферии. Размерность области М x N

составляла 89 x 53 узла. Общее количество счетных узлов для четырех слоев составляло порядка 18000. Подробно принципы схематизации гидрогеологических условий и результаты калибровки модели изложены в [4, 5, 12]. На модели было выполнено два варианта прогноза. Первый вариант предполагал сохранение производительности водозаборных скважин на уровне 1989 г. Второй предусматривал водоотбор в рамках утвержденных запасов (по сумме категорий), а также работу водозаборных сооружений по состоянию на 1989 г. на неутвержденных запасах. Прогноз изменения гидрогеологических условий в пределах моделируемой территории производился сроком на 50 лет. Позднее, в начале 2000-х годов, были начаты работы по геоинформационному моделированию гидрогеологических условий Восточного Приаралья [4, 11, 12], а также адаптации созданной модели в системе моделирования GMS 3.1. Но из-за недостатка финансирования эти работы так и не были завершены.

На исследуемой территории в разное время создавались также детальные модели гидрогеологических условий отдельных участков. В 80-х годах прошлого столетия на базе аналогового устройства БУСЭ-70 был смоделирован подземный водный и солевой приток в котловину Аральского моря [9]. В 90-х годах с помощью отечественной программы АМИГО-ПК была создана модель гидрогеологических условий Кызылжарминского месторождения подземных вод [17]. В 2011 году с применением методов математического моделирования была выполнена оценка эксплуатационных запасов подземных вод Кызылжарминского месторождения и осуществлена их защита в ГКЗ РК [13, 14, 15]. Для моделирования был использован программный комплекс GMS 6.0.

В рамках выполняемого гранта был проведен критический анализ результатов ранее выполненных исследований, разработаны концепции геоинформационно-математического моделирования, намечены пути их реализации. Гидрогеологическая изученность Сырдарьинского артезианского бассейна в целом достаточна для создания его модели. Основные недостатки ранее выполненного моделирования в пределах исследуемой территории заключаются в следующем.

Модель гидрогеологических условий Сырдарьинского артезианского бассейна конца 80-х годов прошлого столетия была создана в Институте гидрогеологии и гидрофизики им.У.М.Ах-

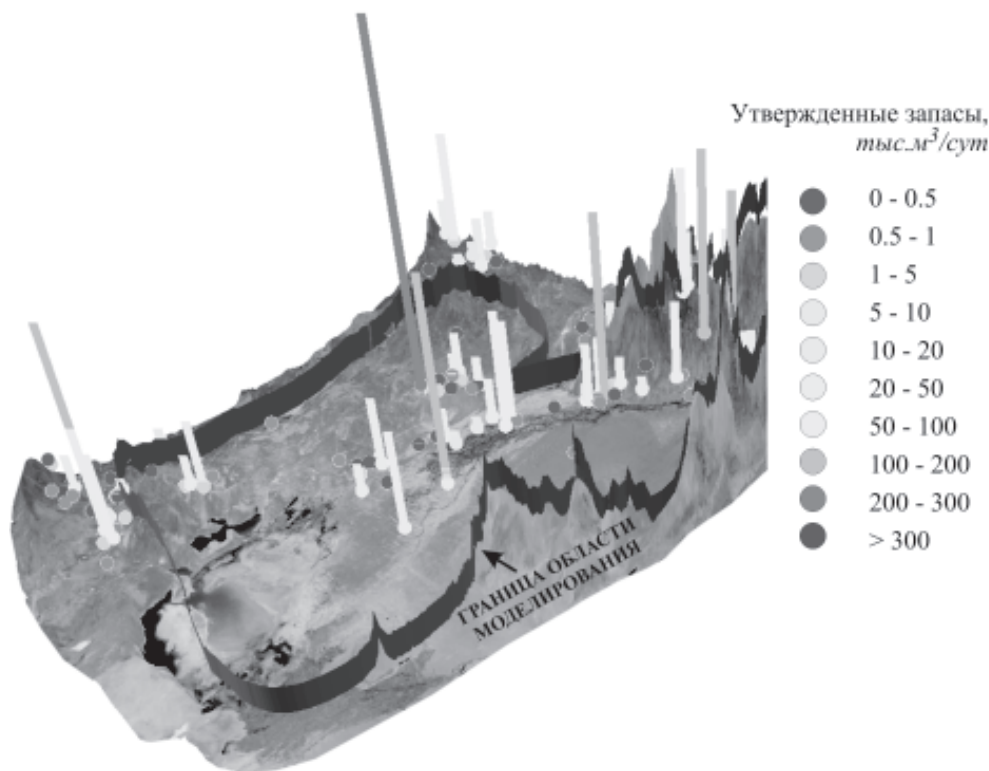


Рис. 2. 3D диаграмма распределения разведанных запасов подземных вод Сырдарьинского артезианского бассейна

медсафина на аналоговой технике, которой в настоящее время уже не существует. Шаг сеточной аппроксимации моделируемой области слишком грубый (от 25 до 50 км). Модель не включала в себя ниже-среднеальб-юрский водоносный комплекс и не учитывала взаимодействие с поверхностными водами. При моделировании была принята предпосылка Мятиева-Гириного, т.е. модель являлась плоскообъемной.

Созданная в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого столетия в Институте гидрогеологии и гидрофизики РК и Казахстанской опытно-методической экспедиции модель гидрогеологических условий Восточного Приаралья была реализована на основе безнадежно устаревшей в настоящее время ЭВМ ЕС. Модель учитывала предпосылку Мятиева-Гириного, т.е. являлась плоскообъемной. Шаг сеточной аппроксимации моделируемой области также достаточно грубый (от 5 км в местах расположения основных водозаборов до 40 км по периферии модели). Основной недостаток – моделируемая область не захватывала южную часть Сырдарьинского артезианского бассейна (рис. 1), что не позволяет решать задачи оценки трансграничного подземного стока через Государственную границу с Узбекиста-

ном. При создании этой модели были использованы исходные данные по состоянию на 1989 год. За истекшие с того времени 23 года Аральское море разделилось на две части с различными абсолютными отметками уровня воды в каждой из них. Существенно уменьшилась площадь водной поверхности. Увеличилось количество разведанных месторождений подземных вод (рис. 2). Это необходимо учесть при последующем моделировании.

В краткой форме разработанные концепции геоинформационно-математического моделирования в гидрогеологических исследованиях можно сформулировать следующим образом.

1. Основным принципом геоинформационного моделирования является совместное использование различных типов геоизображений, с которыми связывается соответствующим образом структурированная и неструктурированная символическая информация.

2. Наиболее полное и всестороннее отображение гидрогеологического объекта обеспечивают комплексные геоинформационно-математические модели.

3. Геоинформационное моделирование предполагает формирование и совместное применение

ние моделей разного масштаба и пространственного охвата.

4. Разнотипные геоинформационные модели формируются на единой картографической основе.

5. Основными компонентами программного комплекса, способного реализовать принципы геоинформационного моделирования в гидрогеологических исследованиях должны быть геоинформационные системы, интегрированные с базами данных и системами математического моделирования, между которыми организуется обмен данными с помощью специальных программных средств.

В рамках выполняемого гранта предусматривается создание геоинформационно-математической модели, ее верификация (калибровка), решение нескольких вариантов прогнозных задач, оформление и анализ результатов, а также разработка рекомендаций по рациональному использованию ресурсов подземных вод.

Основные требования к математической модели:

1. моделируемая площадь должна охватывать всю территорию Сырдарьинского артезианского бассейна или немного большую территорию с учетом требований к схематизации граничных условий;

2. масштаб модели не мельче 1:1000000;

3. нижняя граница модели должна проходить по кровле палеозойских отложений;

4. при схематизации гидрогеологических условий в разрезе должны быть выделены основные эксплуатируемые водоносные горизонты и комплексы, а также разделяющие их слабопроницаемые глинистые слои;

5. шаг сеточной аппроксимации моделируемой области в плане по возможности не должен превышать 5 км;

6. модель должна имитировать процессы трехмерной фильтрации подземных вод;

7. модель должна учитывать связь подземных вод с поверхностными водами Аральского моря и рек Сырдарья и Амударья, имитировать изменение уровня воды в Аральском море и отступление его береговой линии;

8. модель должна воспроизводить изменение водоотбора из основных водоносных горизонтов и комплексов с 1960г. (начало интенсивной эксплуатации подземных вод) по настоящее время, учитывать работу примерно 2000 бесхозных самоизливающихся скважин и изменение их дебита при изменении напора подземных вод;

9. модель должна имитировать испарение с поверхности грунтовых вод и изменение его величины при изменении уровня грунтовых вод;

10. модель должна воспроизводить только фильтрацию подземных вод. Для решения задач прогнозирования качества подземных вод в дальнейшем должны создаваться крупномасштабные модели-врезки наиболее важных участков;

11. на модели необходимо воспроизвести несколько вариантов эксплуатации подземных водных ресурсов, рассчитать изменение положения уровенной поверхности подземных вод дифференцировано для основных водоносных горизонтов и комплексов, рассчитать трансграничный сток через границу с Узбекистаном и его изменение во времени, сток в Аральское море, оценить взаимосвязь подземных вод с водами реки Сырдарья и ее изменение во времени.

Основные требования к геоинформационной модели:

1. модель создается в масштабе 1:500 000 – 1:1 000 000;

2. геоинформационная модель должна охватывать несколько большую площадь, чем площадь в пределах границ математической модели;

3. геоинформационная модель должна содержать все сведения, необходимые для выполнения схематизации гидрогеологических условий, а также включать в себя результаты схематизации и карты гидрогеологических параметров для всех слоев математической модели в соответствии с выполненной схематизацией.

Инструментальные средства. Для создания геоинформационной модели были выбраны MapInfo 10 и ArcGIS 9.3. Для создания математической модели гидрогеологических условий Сырдарьинского артезианского бассейна была выбрана система моделирования GMS 6. Описание инструментальных средств и их функциональных возможностей приводится в [18-20].

Таким образом, в результате исследований, выполненных в Институте разработаны концепции геоинформационно-математического моделирования гидрогеологических условий Сырдарьинского артезианского бассейна для оптимизации использования ресурсов подземных вод, оценки трансграничного стока, оценки взаимосвязи подземных вод с поверхностными. Они будут использоваться при создании геоинформационно-математической модели гидрогеологических условий и решении на ней многовариантных прогнозных задач использования ресурсов подземных вод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Веселов В.В., Винникова Т.Н., Калмыкова Н.В., Паничкин В.Ю.* Исследование гидродинамических процессов формирования подземных вод Приаралья на региональных математических моделях // Геология и разведка Казахстана. — 1995. — № 2. — С. 31-36.
2. *Веселов В.В., Мирлас В.М., Паничкин В.Ю.* О создании системы математических эколого-гидрогеологических моделей казахстанской части Приаралья // В кн.: Условно-корректные задачи математической физики и анализа. — Новосибирск, 1992. — С. 124-125.
3. *Веселов В.В., Мирлас В.М., Паничкин В.Ю.* и др. Теоретическое и методологическое обоснование математической модели Приаралья // Вестник АН КазССР. — 1991. — № 12. — С.10-16.
4. *Веселов В.В., Паничкин В.Ю.* Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических условий Восточного Приаралья. — Алматы : ТОО «Комплекс», 2004. — 426 с.
5. Моделирование и прогноз динамики гидрогеологических процессов рационального использования подземных вод в бассейнах Арала и Балхаша: отчет о НИР / АО «Нац. центр научно-техн. информ.»: рук. *Веселов В.В.*; исполн.: Паничкин В.Ю., Трушель Л.Ю. и др. — Алматы, 1997. — РН: 0196РК00434
6. *Веселов В.В., Спивак Л.Ф.* Развитие в Казахстане компьютерных технологий моделирования природных процессов // В кн.: Вопросы изучения водных ресурсов Центральной Азии. — Алматы : Гылым, 1993. — С. 35-48.
7. *Веселов В.В., Сыдыков Ж.С.* Гидрогеология Казахстана. — Алматы: ТОО «Комплекс», 2004. — 484 с.
8. Гидрогеология СССР, т. XXXVI «Южный Казахстан». — М., 1970. — 473 с.
9. *Золотарев В.П.* Моделирование подземного и солевого обмена в котловине Аральского моря на современном этапе и прогнозы их изменения: автореф. ...канд. техн. наук: 04.00.06. — Ташкент, 1989. — 23с.
10. *Кирюхин В.А., Толстихин Н.И.* Региональная гидрогеология. — М., 1987. — 382 с.
11. *Паничкин В.Ю.* Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических процессов при решении водохозяйственных и экологических проблем Казахстана // Геология Казахстана. — 2001. — №2. — С. 86-97.
12. *Паничкин В.Ю.* Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических систем Казахстана: автореф. ... докт. техн. наук: 25.00.07. Алматы: Институт гидрогеологии и гидрофизики им. У.М. Ахмедсафина МОН РК, 2004. — 48 с.
13. *Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л., Трушель Л.Ю., Захарова Н.М.* Концепции математического моделирования Кызылжарминского месторождения подземных вод с целью оценки его запасов // Известия НАН РК. Серия геологическая. — 2011. — №2. — С.49–53.
14. *Паничкин В.Ю., Сатпаев А.Г., Мирошниченко О.Л., Трушель Л.Ю., Захарова Н.М.* Применение методов математического моделирования для оценки запасов подземных вод Кызылжарминского месторождения // Геология и охрана недр. — 2011. - № 3(40). — С.57-62.
15. *Паничкин В.Ю., Сатпаев А.Г., Мирошниченко О.Л., Трушель Л.Ю., Захарова Н.М.* Оценка запасов подземных вод Кызылжарминского месторождения методами математического моделирования // Известия НАН РК. Серия геологическая. — 2011. — №3. — С.80-85.
16. Сырдарьинский артезианский бассейн (математическое моделирование ресурсов подземных вод в условиях техногенеза) / отв. редактор *Ж.С.Сыдыков.* — Алма-Ата: «Гылым», 1992. — 200 с.
17. *Трушель Л.Ю.* Моделирование гидрогеологических условий Центральной части Кзылкумского артезианского бассейна для оценки ресурсов и качества подземных вод: автореф. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.05. — Алматы, 1993. — 21 с.
18. ArcGIS 9. ArcMap Tutorial. — 2006.
19. MapInfo Professional. Version 10.0. User Guide. — 2009.
20. GMS 6.0 Tutorials. — 2005. — Vol. 1, Vol. 2, Vol. 3, Vol. 4.