

of white willow (*Salix alba* L.) in the conditions of the Bryansk forest massif]. *Izvestiya vy'sshih uchebny'h zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 2016, no. 3 (351), pp. 66-76. (In Russian)

7. **Wagner N.D., He L., Hörandl E. The evolutionary history, diversity, and ecology of willows (*Salix* L.) in the European Alps.** *Diversity*, 2021, vol. 13, no. 4, 146 p. <https://doi.org/10.3390/d13040146>.

8. **Rumyanov D.E., Lipatkin, V.A., Cherakshv A.V., Vorobeva, N. S. Metodicheskie rekomendacii po otboru kernov drevesiny' dlya celej dendrochronologicheskikh issledovaniy v lesovedenii i lesovodstve** [Guidelines for the selection of wood cores for dendrochronological studies in forest science and silviculture]. Moscow, Professional'naya nauka, 2022. (In Russian)

9. **Churakova O.V., Rumyanov D.E. Problemy' e'kofiziologicheskoy interpretacii klimaticheskogo signala v dendrochronologicheskikh i dendroizotopny'h ryadah** [Problems of ecophysiological interpretation of the climatic signal in dendrochronological and dendroisotopic series]. *Lesohozyajstvennaya informaciya*, 2024, no. 2, pp. 19-36. (In Russian)

10. **Utshkaliyev M.D., Akhmetov R.S. Usloviya formirovaniya pochv pojmy' r. Ural Aty'rauskoj oblasti Respubliki Kazahstan** [Conditions of soil formation in the floodplain of the Ural River in the Atyrau region of the Republic of Kazakhstan]. *Lesnoe hozyaystvo i zelenoe stroitel'stvo v Zapadnoj Sibiri*, 2016, pp. 153-159. (In Russian)

11. **Auyezov D.U., Kelgenbayev N.S., Mamyrbaj M. A. Dinamika urovnya gruntovy'h vod i ih svyaz' s vlagobespechennost'yu nasazhdenij v pojme reki Ural Zapadno-Kazahstanskoj oblasti** [Dynamics of groundwater levels and their relationship with moisture supply of plantings in the floodplain of the Ural River in the West Kazakhstan region]. *Lesnoe hozyaystvo: aktual'ny'e problemy' i puti ih resheniya*, 2022, pp. 142-147. (In Russian)

12. **Ahmadullin R.Sh., Zaycev G.A. Otnositel'noe zhiznennoe sostoyanie nasazhdenij ivy' belo (Salix alba L.) v usloviyah Ufimskogo promy'shленного центра** [Relative vitality of white willow (*Salix alba* L.) plantations in the conditions of the Ufa industrial center]. *Biodiagnostika sostoyaniya prirodny'h i prirodno-tehnogenny'h sistem*, 2016, pp. 28-30. (In Russian)

Сведения об авторах:

Курмангожинов Альжан Жанибекович* – PhD, доктор естественных наук, и.о. ассоциированного профессора кафедры лесные ресурсы и лесное хозяйство, НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Женис, 62, тел.: +7-705-546-19-17, e-mail: a.kurmangozhinov@kazatu.edu.kz.

Жумадилов Булат Зулхарнаевич – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры экология, НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Женис, 62, тел.: +7-701-525-87-55, e-mail: zhumadilov_bulat@mail.ru.

Гомер Вероника Яковлевна – магистрант, НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Женис, 62, тел.: +7-705-299-34-01, e-mail: veronika_555555@mail.ru.

Курмангожинов Альжан Жанибекович* – жаратылыстану ғылымдарының PhD докторы, орман ресурстары және орман шаруашылығы кафедрасы қауымдастырылған профессорының м.а., «С.Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: +7-705-546-19-17, e-mail: a.kurmangozhinov@kazatu.edu.kz.

Жумадилов Булат Зулхарнаевич – биология ғылымдарының кандидаты, экология кафедрасының аға оқытушысы, «С.Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: +7-701-525-87-55, e-mail: zhumadilov_bulat@mail.ru.

Гомер Вероника Яковлевна – магистрант, «С.Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: +7-705-299-34-01, e-mail: veronika_555555@mail.ru.

Kurmangozhinov Alzhan Zhanibekovich* – PhD, Doctor of Natural Sciences, acting Associate Professor of the Department of forest resources and forestry, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: +7-705-546-19-17, e-mail: a.kurmangozhinov@kazatu.edu.kz.

Zhumadilov Bulat Zulkharnayevich – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer of the Department of ecology, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: +7-701-525-87-55, e-mail: zhumadilov_bulat@mail.ru.

Gomer Veronika Yakovlevna – Master student, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: +7-705-299-34-01, e-mail: veronika_555555@mail.ru.

MPHTI: 36.61.27

УДК 556.3.06

https://doi.org/10.52269/22266070_2024_4_119

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ МАКТААРАЛЬСКОГО МАССИВА

Оңласынов Ж.Ә.* – доктор философии (PhD), и.о. заведующего лабораторией Гис-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахметсафина Satbayev University», г. Алматы, Республика Казахстан.

Сотников Е.В. – доктор философии (PhD), заведующий лабораторией Моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахметсафина, Satbayev University», г. Алматы, Республика Казахстан.

Мирошниченко О.Л. – к.т.н., ВНС лаборатории Моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахметсафина, Satbayev University», г. Алматы, Республика Казахстан.

Муратова М.М. – ведущий инженер лаборатории ГИС-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахметсафина, Satbayev University», г. Алматы, Республика Казахстан.

Статья посвящена оценке эффективности системы вертикального дренажа (СВД) на орошаемых землях Мактааральского массива, расположенного в Туркестанской области. Актуальность исследования обусловлена необходимостью рационального использования водных и земельных ресурсов в условиях растущего дефицита воды и задач по увеличению площади орошаемых земель, обозначенных в стратегических документах Республики Казахстан. В работе выполнено математическое моделирование гидрогеологического режима с использованием модуля MODFLOW в среде GMS. Проведена схематизация гидрогеологических условий, создана гидродинамическая модель, воспроизведен режим фильтрации подземных вод, выполнены расчеты водного баланса и решены прогнозные задачи. Результаты моделирования показали, что текущая схема СВД не обеспечивает необходимого понижения уровня грунтовых вод на засоленных территориях, что способствует развитию процессов вторичного засоления и снижению урожайности. На основе проведенного анализа предложены рекомендации по оптимизации параметров и режима работы СВД, включая увеличение количества скважин и улучшение их размещения. Применение предложенных мер позволит не только повысить эффективность мелиоративных мероприятий, но и улучшить условия для ведения устойчивого сельского хозяйства в регионе. Полученные результаты могут быть использованы для разработки аналогичных систем в других орошаемых районах с похожими условиями.

Ключевые слова: математическая модель, гидрогеологические условия, система вертикального дренажа (СВД), вода для орошения.

МАҚТААРАЛ МАССИВІНІҢ СУАРМАЛЫ ЖЕРЛЕРІНІҢ ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Оңласынов Ж.Ә.* – философия докторы (PhD), ЖҚЗ және ГАЖ технологиялары лабораториясы меңгерушісінің м.а., «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University», Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Сотников Е.В. – философия докторы (PhD), Гидродинамикалық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының меңгерушісі, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Мирошниченко О.Л. – т.ғ.к., Гидродинамикалық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, У.М.Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Муратова М.М. – ЖҚЗ және ГАЖ технологиялары лабораториясының бас инженері, У.М.Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Мақала Түркістан облысында орналасқан Мақтаарал суару массивіндегі тік дренаж жүйесінің (ТДЖ) тиімділігін бағалауға арналған. Бұл зерттеудің өзектілігі су ресурстарының тапшылығының өсуі жағдайында және Қазақстан Республикасының стратегиялық құжаттарында белгіленген суармалы жерлердің көлемін арттыру міндеттерін орындау үшін су және жер ресурстарын ұтымды пайдаланудың қажеттілігімен негізделген. Гидрогеологиялық режимді математикалық модельдеу GMS ортасындағы MODFLOW модулін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Гидрогеологиялық жағдайлар схемаланды, гидродинамикалық модель жасалды, жер асты суларының фильтрация режимі модельденді, су теңгерімі есептеліп, болжамды сценарийлер талданды. Модельдеу нәтижелері қазіргі ТДЖ схемасы тұзданған аумақтардағы жер асты сулары деңгейін жеткілікті түрде төмендетпестейтінін, бұл екінші реттік тұздану процестерінің дамуына және егін түсімінің төмендеуіне әкелетінін көрсетті. Жүргізілген талдау негізінде ТДЖ параметрлері мен жұмыс режимін оңтайландыру бойынша ұсыныстар берілді, оның ішінде ұңғымалар санын көбейту және олардың орналасуын жақсарту. Ұсынылған шараларды жүзеге асыру мелиорация іс-шараларының тиімділігін арттырып, аймақтағы тұрақты ауыл шаруашылығын жүргізуге қолайлы жағдайлар жасайды. Алынған нәтижелер ұқсас жағдайлары бар басқа суармалы аймақтарда да қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: математикалық модель, гидрогеологиялық жағдайлар, тік дренаж жүйесі (ВДС), суаруға арналған су.

MATHEMATICAL MODEL OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF IRRIGATED LAND OF THE MAKTAARAL MASSIF

Onlassyynov Zh.A* – PhD, acting Head of the Laboratory of GIS technologies and Earth's remote sensing, Akhmedsaffin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Sotnikov Y.V. – PhD, Head of the Laboratory for Modeling Hydrodynamic and Geoecological Processes, Akhmedsaffin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Miroshnichenko O.L. – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory for Modeling Hydrodynamic and Geoecological Processes, Akhmedsaffin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Muratova M.M. – Leading Engineer of the Laboratory of GIS technologies and Earth's remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

The article focuses on evaluating the efficiency of the vertical drainage system (VDS) in irrigated lands of the Maktaaral irrigation massif, located in the Turkestan region. The relevance of this study is related to the need for rational use of water and land resources amid growing water scarcity and the goals for increasing irrigated land area outlined in Kazakhstan's strategic documents. Mathematical modeling of the hydrogeological regime was carried out using the MODFLOW module within the GMS environment. The hydrogeological conditions were schematized, a hydrodynamic model was developed, the groundwater filtration regime was simulated, water balance calculations were performed, and predictive scenarios were analyzed. The modeling results revealed that the current VDS configuration fails to sufficiently lower groundwater levels in salinized areas, leading to secondary salinization and reduced crop yields. Based on the analysis, recommendations were proposed to optimize VDS parameters and operation, including increasing the number of wells and improving their placement. Implementing these measures will enhance the efficiency of melioration measures and create better conditions for sustainable agriculture in the region. The findings can also be applied to the development of similar systems in other irrigated areas with comparable conditions.

Key words: *mathematical model, hydrogeological conditions, vertical drainage system (VDS), irrigation water.*

Введение. В послании Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана от 2 сентября 2019 г. отмечалась необходимость поэтапного увеличения количества орошаемых земель до 3 млн гектар к 2030 году. Это позволит обеспечить рост объема сельхозпродукции в 4,5 раза. Процесс реализации данного послания Главы государства должен сопровождаться качественным мониторингом и оценкой мелиоративного состояния орошаемых земель. Также в 15 статье Закона Республики Казахстан о государственном регулировании развития агропромышленного комплекса и сельских территорий № 66 от 8 июля 2005 года (с правками и дополнениями от 24.11.2021) указано, что информационно-маркетинговое обеспечение агропромышленного комплекса осуществляется посредством обеспечения данными агрометеорологического и космического мониторинга.

Помимо этого, в Постановлении Правительства Республики Казахстан от 30 декабря 2021 года № 960 «Концепции развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021–2030 годы» особое внимание уделяется внедрению методов дистанционного зондирования в контроле за выполнением требований земельного законодательства, определении видового состава растений на полях.

В данной Концепции развития агропромышленного комплекса особое внимание уделяется и проблемам водной безопасности. По оценке экспертов в Казахстане есть риск возникновения дефицита воды, а к 2050 году республика может оказаться в списке государств катастрофического водного стресса. Это, в свою очередь, окажет влияние на социально-экономическое развитие страны. В частности, наибольшее воздействие данная ситуация окажет на развитие агропромышленного комплекса, так урожайность некоторых культур к 2030 году снизится на 9-47 % к современному уровню, а это напрямую влияет на показатели производительности труда и вопросы продовольственной безопасности.

Одной из мер достижения цели Концепции развития агропромышленного комплекса является рациональное водопотребление в сельском хозяйстве путем повышения качества и эффективности использования водо-земельных ресурсов на гидромелиоративных системах. Исходя из этого, появляется необходимость разработки и внедрения научно-обоснованного режима работы дренажных систем для регулирования и поддержания благоприятного эколого-мелиоративного режима. С начала 1940-х годов в орошаемых районах Южного Казахстана широко использовались разнообразные системы дренажа с целью поддержания уровня грунтовых вод на оптимальном уровне и предотвращения засоления почв. Эти дренажные системы имели различные конструктивные особенности, но их общей целью было создание благоприятных условий для мелиорации земель. Вопросами изучения конструкции и обоснования систематического дренажа на орошаемых землях в странах СНГ и Казахстана занимались Духовный В.А., Бехбудов А.К., Якубов Х.И., Кошкараров С.И., Вышпольский Ф.Ф. [1, с.13, 2, с. 27, 3, с.60, 4, с.11, 5, с.70].

В этих работах отмечено, что одним из важнейших вопросов при проектировании и строительстве открытого горизонтального дренажа является определение оптимальной глубины его заложения, с которой связаны уровень грунтовых вод, междреннее расстояние, удельная и общая протяженность дренажной сети. Заглубление регулирующих дрен позволяет увеличивать расстояние между ними, однако это усиливает неравномерность водного и солевого режимов почвогрунтов на орошаемых землях. Глубина заложения дрен должна учитывать строение почвенного разреза – если почва не однородна по водно-физическим свойствам, то надо стремиться закладывать дрены в более водопроницаемом слое. Формирующий режим грунтовых вод на оросительных системах юга Казахстана в условиях существующего состояния всех звеньев оросительной и коллекторно-дренажной сети, а также их эксплуатации, вызывает развитие процессов вторичного засоления орошаемых земель. В связи с этим возникает необходимость создания технически совершенной конструкции ирригационной системы, при этом основное внимание должно быть уделено системе дренажа.

Для проведения исследований по данной теме выбран Мактааральский массив орошения Туркестанской области как основной хлопкосеющий регион Южного Казахстана, имеющий более чем полувековой мелиоративный опыт освоения земель, с достаточно высокой на сегодняшний день сложившейся культурой ведения орошаемого земледелия. Эксплуатация существующих оросительных систем Мактааральского массива показывает, что орошение в условиях недостаточной дренированности территории приводит к подъему уровня грунтовых вод, что ведет к засолению и заболачиванию земель.

Многолетний опыт эксплуатации открытого горизонтального дренажа на орошаемых землях юга Казахстана, в том числе Мактааральского массива, показывает его низкую мелиоративную эффективность. Складывающийся режим грунтовых вод на оросительных системах юга Казахстана в условиях существующего состояния всех звеньев оросительной и коллекторно-дренажной сети, а также их эксплуатации, вызывает развитие процессов вторичного засоления орошаемых земель. В связи с этим возникает необходимость создания

технически совершенной конструкции оросительной системы, при этом основное внимание должно быть уделено конструкции дренажа.

Многочисленными исследованиями установлено, что вертикальный дренаж является эффективным средством мелиорации орошаемых земель. Его применение позволяет сократить потери орошаемой площади, экономить водные ресурсы, создает благоприятные условия для сельскохозяйственных работ, способствует интенсивному ведению хозяйства и является необходимым мероприятием в условиях оплывания откосов открытой дренажной сети. Однако, несмотря на преимущество вертикального дренажа он не показывает эффективность в условиях Мактааральского массива. Для научного обоснования неэффективности существующей системы дренажа, была создана математическая модель гидрогеологического режима грунтовых вод рассматриваемого массива орошения.

В связи с этим задачей моделирования является оценка эффективности существующей системы СВД Мактааральского массива, воспроизведение режима его работы в период промывки, вегетационный и межвегетационный периоды, а также установление оптимальных параметров и схем ирригации.

Цель. Цель создания математической модели – оценка изменения гидрогеологических условий при существующем сценарии работы вертикального дренажа.

Задачи. В рамках работы выполнены следующие задачи: проведен анализ и подготовка исходных данных, необходимых для моделирования; выполнена схематизация гидрогеологических условий участка и обоснование расчетной схемы модели; осуществлена дискретизация моделируемой области и создана гидродинамическая модель; построены численные модели карт параметров; воспроизведен режим фильтрации подземных вод; выполнены расчеты водного баланса; решены прогнозные задачи; проведена обработка и анализ результатов моделирования.

Материалы и методы. Была проведена схематизация гидрогеологических условий [6, с.7311]. Внешними границами модели являются: на севере – Шардаринское водохранилище, на западе – Арнасайское озеро, на востоке – Восточный коллектор, на юге – Центральный Голодностепский коллектор. Водохранилище и озеро схематизированы граничными условиями III рода General Head, отражающими взаимосвязь гидрогеологического объекта со внешней фильтрационной средой. Границы, характеризующиеся отсутствием потока подземных вод, заданы граничными условиями II рода Barrier. Коллекторно-дренажная сеть представлена граничными условиями II рода Drain. Для скважин вертикального дренажа использованы граничные условия II рода Well, представляющие сток с заданным расходом воды (Рисунок 1).

Инфильтрационное питание подземных вод определялось как сумма атмосферных осадков и ирригационного питания. Конфигурация зон ирригации, соответствующих орошаемым площадям, корректировалась с использованием данных ДЗЗ [7, с.441]. Эвапотранспирация, как и площадное питание за счет атмосферных осадков, задавались по всей площади модели. В разрезе выделено 5 слоев: слой покровных отложений мощностью 2 м, слой суглинков мощностью 20 м, слой песчаных отложений мощностью 25 м, слой суглинков мощностью 5 м и слой песков мощностью 10 м. Нижняя граница модели проходит по кровле глинистых четвертичных аллювиально-пролювиальных отложений.

Для имитации различных сценариев работы системы вертикального дренажа использован модуль MODFLOW, входящий в состав системы математического моделирования подземных вод GMS.

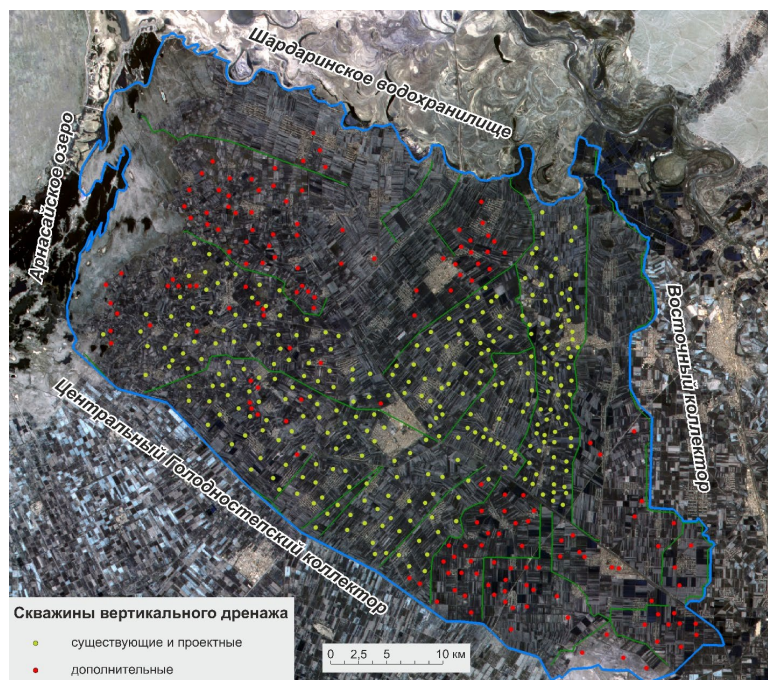


Рисунок 1 – Область моделирования

Для создания математической модели были использованы коэффициенты фильтрации покровных отложений заданы 5 м/сут, суглинков – 0.012-0.12 м/сут, песков – 1-17 м/сут, суглинков – 1 м/сут, песков – 17 м/сут. Коэффициент гравитационной водоотдачи изменяется от 0.05 до 0.1, упругой – от 0.0005 до 0.007. Площадное

питание разделялось на питание за счет атмосферных осадков и ирригации. Величина питания за счет атмосферных осадков – 0.000002 м/сут. Величина ирригационного питания дифференцировалась по зонам орошения и задавалась графиком в соответствии с фактическими данными, предоставленными ЮКГГМЭ. Эвапотранспирация принята 0.0005 м/сут, критическая глубина залегания уровней грунтовых вод – 2.0 м. (Рисунок 2).

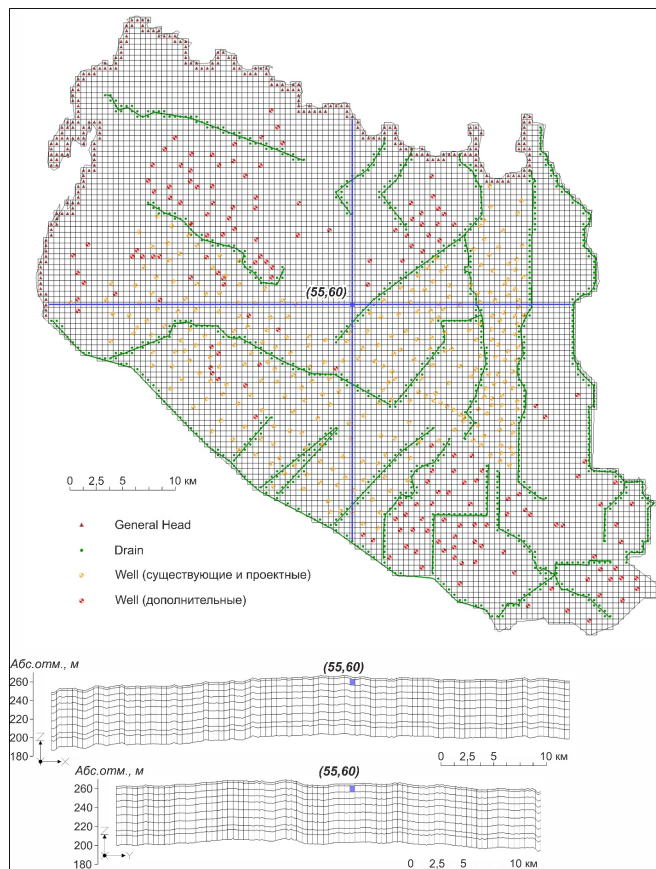


Рисунок 2 – Схематизация гидрогеологических условий в плане и разрезе

Калибровка модели проводилась для доказательства ее адекватности существующим природным условиям. Поскольку массив орошения эксплуатируется длительное время, рассматриваемая территория характеризуется значительно нарушенными гидрогеологическими условиями. Это делает нецелесообразным решение обратной стационарной задачи.

Поэтому с целью калибровки или воспроизведения имеющихся гидрогеологических условий на модели была решена обратная нестационарная задача на период 01.01.2021-01.01.2022. В процессе калибровки подбирались фильтрационные параметры, площадное питание и др. Было выделено 12 стрессовых периодов.

По результатам решения обратной нестационарной задачи были рассчитаны средняя, средняя абсолютная и среднеквадратичная ошибки.

Средняя ошибка (Mean error)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{\text{набл}} - H_{\text{рас}}) = 0.099 \text{ м}$$

Средняя абсолютная ошибка (Mean absolute error)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H_{\text{набл}} - H_{\text{рас}}| = 0.789 \text{ м}$$

Среднеквадратичная ошибка (Root squared error)

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{\text{набл}} - H_{\text{рас}})^2} = 0.944 \text{ м}$$

где $H_{\text{набл}}$ и $H_{\text{рас}}$ – значения наблюдаемых и рассчитанных уровней подземных вод.

По результатам решения эпигнозной задачи были построены карты глубин залегания уровней грунтовых вод на различные моменты времени, на которых выделены зоны с критической глубиной залегания уровня грунтовых вод. Площадь территории, подвергающаяся интенсивному засолению, составила 612 км², что составляет 34 % от возделываемых земель Мактааральского массива орошения.

Результаты. Было установлено, что при существующем режиме работы СВД снижение уровня на площадях, подверженных засолению, не происходит. Это обусловило необходимость подбора оптимального количества скважин вертикального дренажа, схемы их расположения и режима работы.

Были проанализированы результаты опытных работ отечественных авторов [8, с.21], а также работы зарубежных специалистов [9, с.2], [10, с.1015], для оценки степени влияния СВД на гидрогеологические условия и выбора эффективного режима их эксплуатации. Было установлено, что радиус влияния скважины при дебите 38 л/с для двух режимов полива ограничивается 400-600 м.

Наиболее интенсивное снижение уровня грунтовых вод фиксируется вблизи возмущающей скважины. Необходимо отметить, что рассчитанный на модели радиус влияния скважин также находится в этом диапазоне. Эти обстоятельства были учтены при постановке прогнозной задачи.

Решение прогнозных задач на математической модели предполагало воспроизведение существующей схемы вертикального дренажа Мактааральского массива с заданием водоотбора из имеющихся 300 скважин, в соответствии со значениями, приведенными в мелиоративных отчетах. Система горизонтального дренажа остается неизменной при любом сценарии.

В соответствии со сценарием водоотбор проводится из 300 существующих на данный момент скважин, в соответствии с графиком, утвержденным для каждой скважины (Рисунок 3).

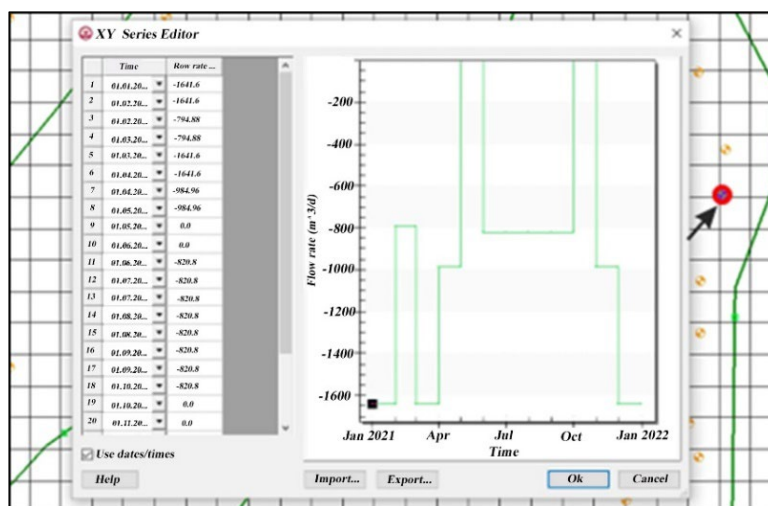


Рисунок 3 – Задание водоотбора из скважины вертикального дренажа для сценария

Результаты решения прогнозной задачи по сценарию подтвердили низкую эффективность существующей системы работы скважин вертикального дренажа.

Построены карты глубин уровней залегания грунтовых вод и рассчитаны балансовые составляющие потока на различные моменты времени (Рисунки 4, 5). Площадь территории с глубиной залегания уровней грунтовых вод менее 2 м составляет 586.75 км², что составляет 32 % от возделываемых земель Мактааральского массива орошения.

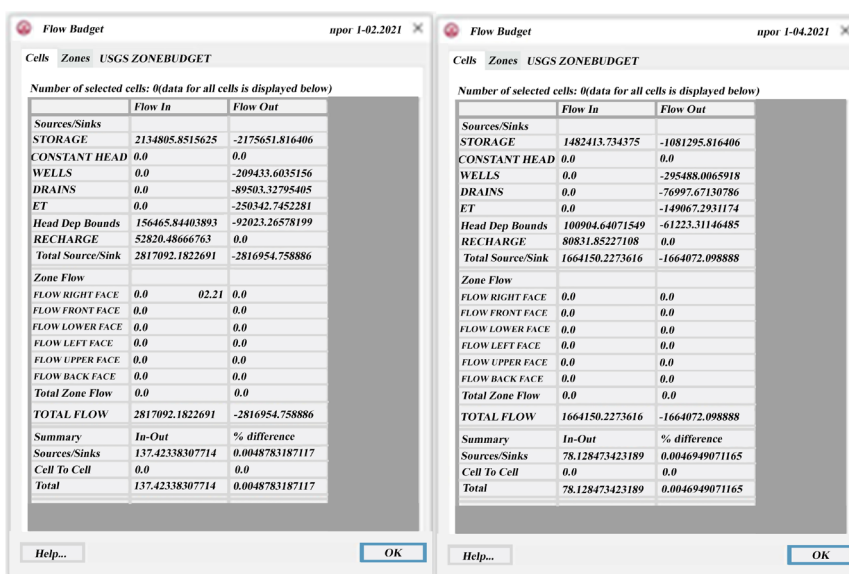


Рисунок 4 – Элементы водного баланса по результатам решения прогнозной задачи по существующему сценарию

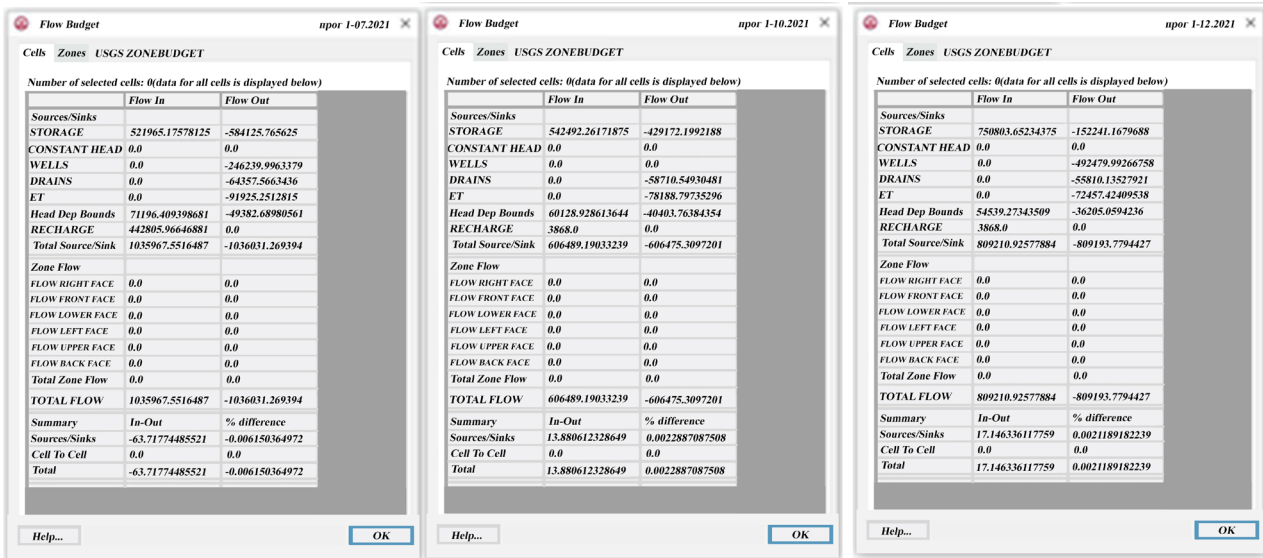


Рисунок 4 – Элементы водного баланса по результатам решения прогнозной задачи по существующему сценарию (продолжение)

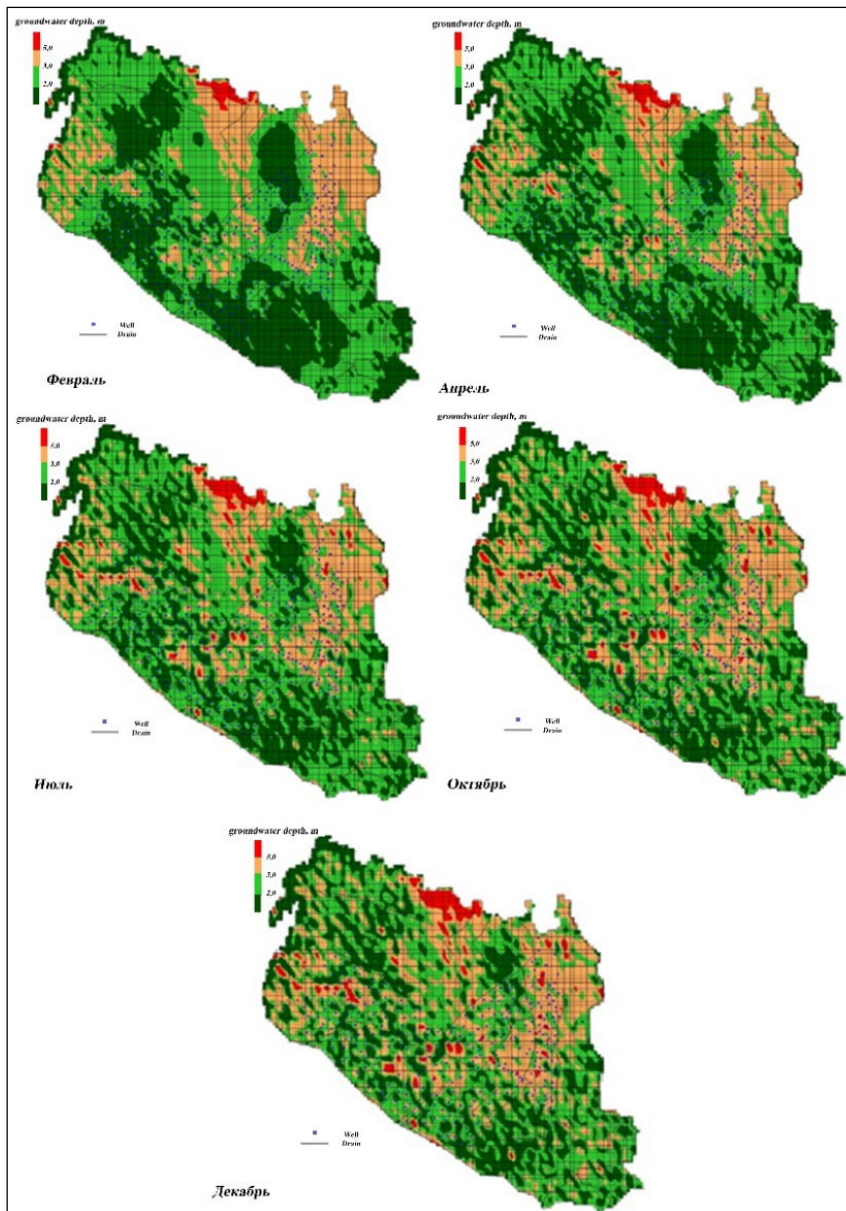


Рисунок 5 – Карты глубин залегания уровней грунтовых вод по результатам решения прогнозной задачи

Закключение. Гидрогеологические процессы в орошаемой территории Мактааральского массива обусловлены взаимодействием поливных вод, атмосферных осадков и подземного притока, что приводит к формированию грунтовых вод. Изменения в уровне грунтовых вод подвержены сезонным колебаниям. Складывающийся режим грунтовых вод на оросительных системах юга Казахстана в условиях существующего состояния всех звеньев оросительной и коллекторно-дренажной сети, а также их эксплуатации, вызывает развитие процессов вторичного засоления орошаемых земель.

Многочисленными исследованиями установлено, что вертикальный дренаж является эффективным средством мелиорации орошаемых земель. Его применение позволяет сократить потери орошаемой площади, экономить водные ресурсы, создает благоприятные условия для сельскохозяйственных работ, способствует интенсивному ведению хозяйства и является необходимым мероприятием в условиях оплывания откосов открытой дренажной сети. Однако, несмотря на преимущество вертикального дренажа, он не показывает эффективности в условиях Мактааральского массива. Для научного обоснования неэффективности существующей системы дренажа была создана математическая модель гидрогеологического режима грунтовых вод рассматриваемого массива орошения.

Математическая модель гидрогеологических условий орошаемых земель позволяет прогнозировать гидрогеологические условия в разных сценариях режима скважин вертикального дренажа. Площадь территории с глубиной залегания уровней грунтовых вод менее 2 м составляет 586.75 км², что составляет 32 % от возделываемых земель Мактааральского массива орошения. Модель показывает неэффективность существующего режима СВД и позволяет подобрать необходимый режим для улучшения мелиоративной обстановки, и в последующем повысить урожайность хлопка сырья на территории исследования.

Работа проводилась в рамках ЦНТП «Ресурсы подземных вод как основной резерв устойчивого орошаемого земледелия Казахстана» No BR 21882211.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Духовный В.А. Водохозяйственный комплекс в зоне орошения** [Текст] / В.А. Духовный // М.: Колос, 1994. – 255 с.
2. **Бехбудов А.К. Мелиорация и охрана природы** [Текст] / А.К. Бехбудов // Баку: Наука, 1997. – 270 с.
3. **Якубов Х.И. К вопросу методологии оценки качества дренажных вод целях использования их на орошение** [Текст] / Х.И. Якубов // Труды САНИИРИ. – Ташкент, 1988. – Вып. 156. – С.60-68.
4. **Кошкарров С.И. Рекомендации по режиму откачек систем вертикального дренажа в Кызылординской области** [Текст] / С.И. Кошкарров // Кызылорда, 1992. – 40 с.
5. **Вышпольский Ф.Ф., Мухамеджанов Х.В. Технология водосбережения и управления почвенно-мелиоративными процессами при орошении** [Текст] / Ф.Ф. Вышпольский, Х.В. Мухамеджанов // Тараз, 2005. – 162 с.
6. **Asmus, C., Hoffmann, P., Pietikäinen, J.-P., Böhner, J., and Rechid, D. Modeling and evaluating the effects of irrigation on land-atmosphere interaction in southwestern Europe with the regional climate model REMO2020-iMOVE using a newly developed parameterization** [Text] / C.Asmus, P. Hoffmann, J.-P. Pietikäinen, J. Böhner, and D. Rechid Geosci // Model Dev., 16, 7311–7337, (2023). <https://doi.org/10.5194/gmd-16-7311-2023>.
7. **Kragh, S. J., Dari, J., Modanesi, S., Massari, C., Brocca, L., Fensholt, R., Stisen, S., and Koch, J. An inter-comparison of approaches and frameworks to quantify irrigation from satellite data, Hydrol** [Text] / S. J.Kragh, J. Dari, S.Modanesi, C.Massari, L.Brocca, R.Fensholt, S.Stisen, and J.Koch // Earth Syst. Sci., 28, 441–457, (2024). <https://doi.org/10.5194/hess-28-441-2024>.
8. **Басманов А.В., Джайсамбекова Р.А., Джумабеков А.А., Технологический регламент режима работы скважин вертикального дренажа** [Text] / А.В.Басманов, Р.А.Джайсамбекова, А.А. Джумабеков // Тараз: ТОО «КазНИИВХ», 2020. – 47 с.
9. **Bakour, A., Zhang, Z., Zheng, C., Alsakran, M.A., Bakir, M. The Study of Subsurface Land Drainage Optimal Design Model** [Text] / A.Bakour, Z. Zhang, C. Zheng, M.A. Alsakran, M. Bakir // Mathematical Problems in Engineering, Volume 2021, 8827300, 11 pages (2021). <https://doi.org/10.1155/2021/8827300>.
10. **Mirkhasilova Z., Yakubov M., Irmuhamedova L. Irmuhamedova Irrigation of the cultivated area with groundwater from vertical drainage wells** [Text] / Z.Mirkhasilova, M.Yakubov, L.Irmuhamedova // International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering", E3S Web Conf., Volume 264, 1015-1022 (2021).

REFERENCES:

1. **Duxovnyj V.A. Vodohozyajstvennyj kompleks v zone orosheniya** [Water utilization system in the irrigation zone]. Moscow, Kolos, 1994, 255 p. (In Russian)
2. **Behbudov A.K. Melioraciya i ohrana prirody** [Melioration and nature conservation]. Baku, Nauka, 1997, 270 p. (In Russian)
3. **Yakubov H.I. K voprosu metodologii ocenki kachestva drenazhny'h vod celyah ispol'zovaniya ih na oroshenie** [On the methodology for assessing the quality of drainage water for irrigation purposes]. Trudy' of SANIIRI, Tashkent, 1988, iss. 156, pp. 60-68. (In Russian)
4. **Koshkarov S.I. Rekomendacii po rezhimu otkachek sistem vertikal'nogo drenazha v Kyzy'lordinskoj oblasti** [Recommendations for the pumping conditions of vertical drainage systems in the Kyzylorda region]. Kyzylorda, 1992, 40 p. (In Russian)
5. **Vyshpolskij F.F., Muhamedzhanov H.V. Tehnologiya vodosberezheniya i upravleniya pochvenno-meliorativny'mi processami pri oroshenii** [Technology of water saving and management of soil reclamation processes during irrigation]. Taraz, 2005, 162 p. (In Russian)

6. Asmus C., Hoffmann P., Pietikäinen J.-P., Böhrner J., Rechid D. Modeling and evaluating the effects of irrigation on land-atmosphere interaction in southwestern Europe with the regional climate model REMO2020-iMOVE using a newly developed parameterization. *Rechid Geosci. Model Dev.*, 2023, 16, pp. 7311–7337. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-7311-2023>.

7. Kragh S.J., Dari J., Modanesi S. et al. An inter-comparison of approaches and frameworks to quantify irrigation from satellite data, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2024, 28, pp. 441–457. <https://doi.org/10.5194/hess-28-441-2024>.

8. Basmanov A.V., Dzhajsembekova R.A., Dzhumabekov A.A. Tehnologicheskiy reglament rezhima raboty' skvazhin vertikal'nogo drenazha [Technological regulations for the operating mode of vertical drainage wells]. Taraz, KazNIIIVH LLP, 2020, 47 p. (In Russian)

9. Bakour A., Zhang Z., Zheng C., Alsakran M.A., Bakir M. The Study of Subsurface Land Drainage Optimal Design Model. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, vol. 2021, 8827300, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/8827300>.

10. Mirkhasilova Z., Yakubov M., Irmuhamedova L. Irmuhamedova Irrigation of the cultivated area with groundwater from vertical drainage wells. *International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering", E3S Web Conf.*, 2021, vol. 264, pp. 1015-1022.

Сведения об авторах:

Онласынов Жұлдызбек Әліханұлы* – доктор философии (PhD), и.о. заведующего лабораторией ГИС-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахметсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: +7-771-6217511, e-mail: onlasynov@mail.ru.

Сотников Евгений Владимирович – доктор философии (PhD), заведующий лабораторией Моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахметсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: +7-705-990-90-65, e-mail: sotnikov_yevgeniy@mail.ru.

Мирошниченко Оксана Леонидовна – к.т.н., ВНС лаборатории Моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахметсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: +7-777-528-14-99, e-mail: o_mirosh@mail.ru.

Муратова Мира Муратовна – ведущий инженер лаборатории ГИС-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахметсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: +7-707-309-90-02, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Онласынов Жұлдызбек Әліханұлы* – философия докторы (PhD), ЖҚЗ және ГАЖ технологиялары лабораториясы меңгерушісінің м.а., У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уалиханов көш. 94, тел.: +7-771-621-75-11, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru.

Сотников Евгений Владимирович – философия докторы (PhD), Гидродинамикалық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының меңгерушісі. У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уалиханов көш. 94, тел.: +7-705-990-90-65, e-mail: sotnikov_yevgeniy@mail.ru.

Мирошниченко Оксана Леонидовна – т.ғ.к., ВНС гидродинамикалық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасы, У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты Satbayev University, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уалиханов көш. 94, тел.: +7-777-528-14-99, e-mail: o_mirosh@mail.ru.

Муратова Мира Мұратқызы – ЖҚЗ және ГАЖ технологиялары лабораториясы бас инженері, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уалиханов көш. 94, тел.: +7-707-309-90-02, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Onlassynov Zhuldyzbek Alikhanuly* – PhD, acting Head of the Laboratory of GIS technologies and Earth's remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: +7-771-621-75-11, e-mail: onlasynov@mail.ru.

Sotnikov Yevgeniy Vladimirovich – PhD, Head of the Laboratory for Modeling Hydrodynamic and Geoecological Processes, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: +7-705-990-90-65, e-mail: sotnikov_yevgeniy@mail.ru.

Miroshnichenko Oksana Leonidovna – Candidate of Technical Sciences., Leading Researcher laboratory of the Laboratory for Modeling Hydrodynamic and Geoecological Processes, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: +7-777-528-14-99, e-mail: o_mirosh@mail.ru.

Muratova Mira Muratovna – Leading Engineer of the Laboratory of GIS Technologies and Earth's remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: +7-707-309-90-02, e-mail: doc-mira@mail.ru.