

Код МРНТИ 52.45.94:87.15.21

*Д.Б. Муратханов^{1,2}, Т.А. Рахимов², И.К. Рахметов²

¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),

²Товарищество с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан)

ПРОГНОЗ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК В ПРИБАЛХАШЬЕ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Прогнозирование распространения загрязнения подземных вод в результате эксплуатации хвостохранилища при помощи создания математической модели гидрогеологических условий прибрежной зоны озера Балхаш, прилегающей к хвостовому хозяйству Балхашской обогатительной фабрики, является важной экологической задачей этого региона. Оценка влияния хвостового хозяйства на состояние подземных и поверхностных вод осуществлялась на основании геомиграционной модели области и решения гидродинамических задач в различных вариантах их постановки. Исследуемая территория характеризуется техногенно нарушенными гидрогеологическими условиями. На состоянии подземных вод оказывают влияние хвостохранилище и пруд-накопитель, ограждающая их плотина, дренажные сооружения (расположенный параллельно озеру Балхаш дренажный канал и дренажные скважины, пробуренные около хвостохранилища). На созданной математической модели было рассчитано несколько вариантов прогноза распространения ореола загрязнения тяжелыми металлами.

Ключевые слова: пруд-накопитель, математическое моделирование, калибровка, геомиграционная задача, техногенные воздействия, ореол распространения, переработка, добыча, концентрация, гидрогеологический район, динамика изменения.

Математикалық модельдеуді қолдану арқылы Балқаш өңіріндегі климаттың өзгеруіне теріс антропогендік қысымның алдын алу болжамы

Аңдатпа. Балқаш кен байыту фабрикасының қалдық қоймаларымен іргелес жатқан Балқаш көлінің жағалау аймағының гидрогеологиялық жағдайларының математикалық моделін жасау арқылы қалдық қоймасының жұмысы нәтижесінде жер асты суларының ластануының таралуын болжау осы аймақ үшін маңызды экологиялық міндет болып табылады. Қалдық қоймаларының жер асты және жер үсті суларының күйіне әсерін бағалау аймақтың геомиграциялық моделі және оларды тұжырымдаудың әртүрлі нұсқаларында гидродинамикалық есептерді шешу негізінде жүргізілді. Зерттелетін аумақ техногендік бұзылған гидрогеологиялық жағдайлармен сипатталады. Жер асты суларының жай-күйіне қалдық қоймасы мен қойма тоғандары, оларды қоршап тұрған бөгет, дренаждық құрылыстар Балқаш көліне параллель орналасқан дренаждық канал және қалдық қоймаларының жанында бұрғыланған дренаждық ұңғымалар әсер етеді. Құрылған математикалық модель негізінде ауыр металдармен ластану ореолының таралуын болжаудың бірнеше нұсқасы есептелді.

Түйінді сөздер: сақтау қоймасы, математикалық модельдеу, калибрлеу, геомиграциялық есеп, техногендік әсерлер, таралу ореолы, өңдеу, алу, концентрация, гидрогеологиялық аймақ, өзгеру динамикасы.

Forecast of prevention of negative anthropogenic pressures on climate change in the balkhash region using mathematical modeling

Abstract. Predicting the spread of groundwater pollution as a result of the operation of the tailing dump by creating a mathematical model of the hydrogeological conditions of the coastal zone of Lake Balkhash adjacent to the tailings of the Balkhash concentrator is an important environmental task for this region. The assessment of the impact of the tailings on the state of groundwater and surface water was carried out on the basis of the geomigration model of the region and the solution of hydrodynamic problems in various versions of their formulation. The study area is characterized by technogenically disturbed hydrogeological conditions. The state of groundwater is affected by the tailings and storage pond, the dam that encloses them, drainage facilities – a drainage channel located parallel to Lake Balkhash and drainage wells drilled near the tailings. Based on the created mathematical model, several options for predicting the spread of heavy metal pollution halo were calculated.

Key words: storage pond, mathematical modeling, calibration, geomigration problem, technogenic impacts, distribution halo, processing, extraction, concentration, hydrogeological region, change dynamics.

Введение

Основной вид деятельности Балхашской обогатительной фабрики – обогащение полиметаллических руд рудодобывающих предприятий. Хвостохранилище обогатительной фабрики является сооружением равнинного типа, образованным путем ограждения части территории существующего хвостохранилища дамбами. При этом образуются хвосты обогащения, в настоящее время складированные в намывное хвостохранилище овражно-балочного типа, расположенное с юго-восточной стороны обогатительной фабрики на расстоянии 1 км от нее.

Гидрографическая сеть района принадлежит бассейну замкнутого бессточного озера Балхаш и расположена на южном склоне главного Центрально-Казахстанского водораздела. Активная водосборная часть, где сток формируется ежегодно, составляет 135-170 тыс. км², что равно 33-41% от общей площади возможного стока. Площадь

зеркала воды озера меньше площади активной части бассейна стока в 8-9 раз, а по отношению ко всему бассейну – в 27 раз. Оз. Балхаш – крупный бессточный бассейн континентального типа, расположенный в наиболее низкой части Балхашской впадины на высоте 340 м. Озеро представляет собой длинный и узкий водоем площадью акватории 15500 км². Площадь водосборного бассейна оз. Балхаш составляет 413000 км², в том числе в пределах Республики Казахстан – 353 тыс. км² (примерно 85%). Водоразделом на севере является Каркаралы-Актауский массив, на востоке – хребты Тарбагатай и Жонгарский Алатау; на юге водораздел проходит по отрогам хребтов Терскей и Кунгей Алатау; на западе – по Шу-Илейскому водоразделу. Общая протяженность водораздельной линии¹ около 4000 км.

Основные сведения исследуемого района

Стратиграфия района. Стратиграфический разрез района осложнен многократными проявлениями

¹Смоляр В.А., Мустафаев С.Т. Гидрогеология бассейна озера Балхаш. – Алматы: Гылым, 2007. – 238 с. (на русском языке)

Таблица 1

Легенда к картам распространения ореола загрязнения подземных вод тяжелыми металлами

Кесте 1

Ауыр металдармен жер асты суларының ластануының ореол таралу карталарына аңыз

Table 1

Legend to the maps of the halo distribution of groundwater pollution by heavy metals

%	Концентрация тяжелых металлов в подземных водах, мг/л						
	Cu ПДК – 1	Pb ПДК – 0,03	Zn ПДК – 5	Cd ПДК – 0,001	Mn ПДК – 1	Se ПДК – 0,01	As ПДК – 0,05
90-100	0,36-0,364	0,478-0,6102	0,2-0,23	0,111-0,1199	25,46-25,114	0,0053-0,00507	0,01-0,009
80-90	0,404-0,328	0,7902-0,5624	0,28-0,21	0,1399-0,1088	27,314-22,568	0,00537-0,00454	0,009-0,008
70-80	0,368-0,292	0,7424-0,5146	0,26-0,19	0,1288-0,0977	24,768-20,022	0,00484-0,00401	0,008-0,007
60-70	0,332-0,256	0,6946-0,4668	0,24-0,17	0,1177-0,0866	22,222-17,476	0,00431-0,00348	0,007-0,006
50-60	0,296-0,22	0,6468-0,419	0,22-0,15	0,1066-0,0755	19,676-14,93	0,00378-0,00295	0,006-0,005
40-50	0,26-0,184	0,599-0,3712	0,2-0,13	0,0955-0,0644	17,13-12,384	0,00325-0,00242	0,005-0,004
30-40	0,224-0,148	0,5512-0,3234	0,18-0,11	0,0844-0,0533	14,584-9,838	0,00272-0,00189	0,004-0,003
20-30	0,188-0,112	0,5034-0,2756	0,16-0,09	0,0733-0,0422	12,038-7,292	0,00219-0,00136	0,003-0,002
10-20	0,152-0,076	0,4556-0,2278	0,14-0,07	0,0622-0,0311	9,492-4,746	0,00166-0,00083	0,002-0,001
0-10	0,116-0,04	0,4078-0,18	0,12-0,05	0,0511-0,02	6,946-2,2	0,00113-0,0003	0,001-0

процессов складчатости и магматизма. В основании его залегает яшмо-порфировая толща, отнесенная к синийскому возрасту (итмурундинская свита). Выше несогласно залегает серия обломочных зеленоцветных отложений палеозоя, представленных фаунистически охарактеризованными породами лудловского, жединского, кобленцкого, эйфельского, фаменского, турнейского ярусов и нижневизейского подъяруса. Венчается разрез вулканогенно-осадочными образованиями среднего визе-намюра. Палеозойские породы почти повсеместно перекрыты чехлом рыхлых кайнозойских отложений.

Тектоника. По особенностям геологического развития, степени дислоцированности, по формам складчатости и возрасту пород, слагающих эти формы, выделяется среднепалеозойский тектонический ярус, сформировавшийся в герцинскую эпоху тектогенеза. Особое положение над складчатыми формами указанного яруса занимают тектонические структуры саяжской свиты. Свообразие тектонического строения района определяется его расположением в пограничной зоне между среднепалеозойскими складчатыми сооружениями Северобалхашского антиклинория

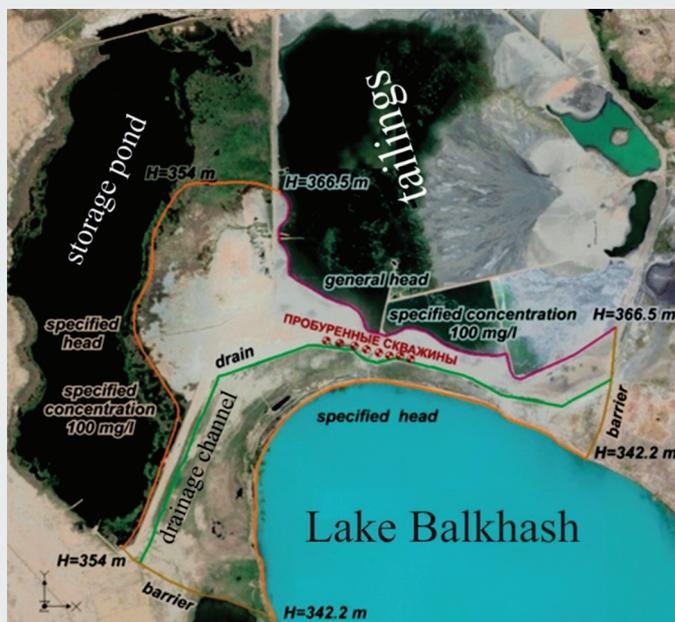


Рис. 1. Граничные условия, заданные на модели.

Сурет 1. Үлгіде көрсетілген шекаралық шарттар.

Figure 1. Boundary conditions specified on the model.

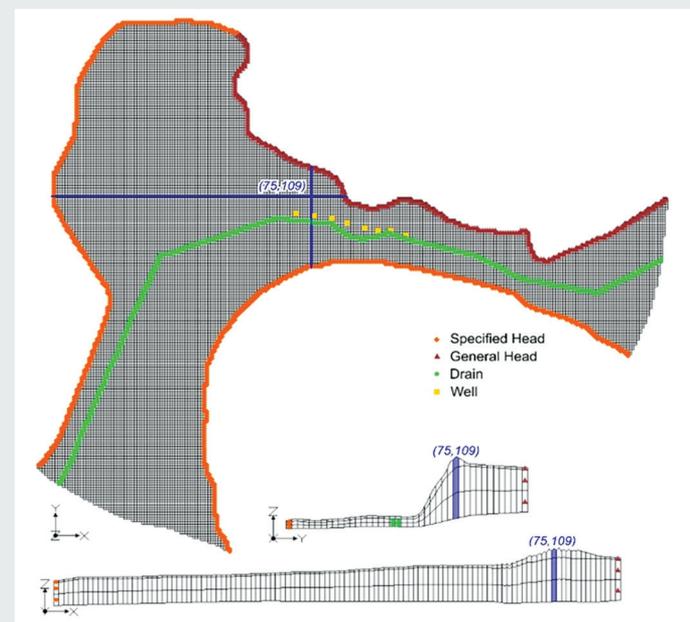


Рис. 2. Схематизация гидрогеологических условий в плане и разрезе.

Сурет 2. Планадағы және қимадағы гидрогеологиялық жағдайлардың схемасы.
Figure 2. Schematic of hydrogeological conditions in plan and section.

и верхнепалеозойскими тектоническими формами Токрауского синклиория. Западная и центральная части площади листа сложены Балхашским интрузивным комплексом. В строении антиклинория принимают участие отложения верхнего силура, девона и нижнего карбона, смятые и крупные симметричные челнокообразные складки выдержанного северо-западного простирания, с углами падения крыльев от 45° до 65°. Длина складок¹ достигает 50-60 км, при ширине 5-10 км [1].

Мелкосопочный рельеф. Этот комплекс объединяет несколько типов рельефа, развитых в пределах района. Грядовый рельеф отмечен по левобережью долины р. Токрау. В геологическом строении грядового рельефа принимают участие различные по происхождению и возрасту породы, начиная от песчаников силура и заканчивая эффузивами карбона. Положительные элементарные формы представлены грядами, линейная направленность которых совпадает с простиранием палеозойских пород.

Грядовый рельеф имеет в районе очень небольшое распространение. Он связан с позднейшим поднятием территории, последующим смывом неогеновых глин с водораздельных пространств и расчленением денудационной равнины на систему мелких гряд с превышением 25 м, реже 35 м. Протяженность гряд, как правило, 50-100 м; ширина по основанию – 10-25 м, по верху гряд она ограничивается несколькими метрами. Лога, разобщающие гряды, узкие, короткие, с ясно выраженным тальвегом и крутым уклоном.

Увалисто-холмистый рельеф как эрозионно-тектонического, так и денудационного генезиса образован сочетанием куполовидных холмов и увалов, разделенных густой и мелкой сетью логов. Определенная закономерность в распределении холмов и увалов обычно прослеживается там, где этот рельеф развит на осадочных породах девона и карбона. В большей части увалы не имеют определенной направленности. Протяженность их не превышает 1-2 км. Ширина колеблется в пределах 100-300 м. Холмы по основанию имеют неопределенную форму, куполовидную вершину. Иногда они сохраняют общую связь с увалом, чаще же они разобщены широкими понижениями. Склоны пологие, слабо расчленены. Относительные превышения изменяются от 8-10 м до 20-40 м.

Побережье озера Балхаш. Аккумулятивный дельтовый берег низкий и пологий. Береговая полоса шириной в 1-5 км заболочена и заросла камышом. Вдоль береговой линии тянется с перерывом современный береговой вал. Высота его 2-3 м, ширина незначительная (15-25 м). Далее за береговым валом следуют отложения первой и второй озерных террас. Ширина первой озерной террасы достигает 1,8 км, второй 1,2 км. Современные шлейфы конусов выноса вложены в более древние и выделяются широкими полосами с незначительным уклоном поверхности вдоль подножий мелкосопочных массивов. Они сложены суглинками и супесями со щебнем и редким

грубо окатанным галечником. По возрасту формирование шлейфов конусов выноса условно отнесено к верхне-четвертичному современному отделу².

Математическая модель гидрогеологических условий прибрежной зоны озера Балхаш

Моделируемая область представлена песчано-гравийными и гравийно-галечными линзами и прослоями, залегающими среди супесей и глин мощностью от 3,2 м до 29,96 м. Водоупорные породы сложены

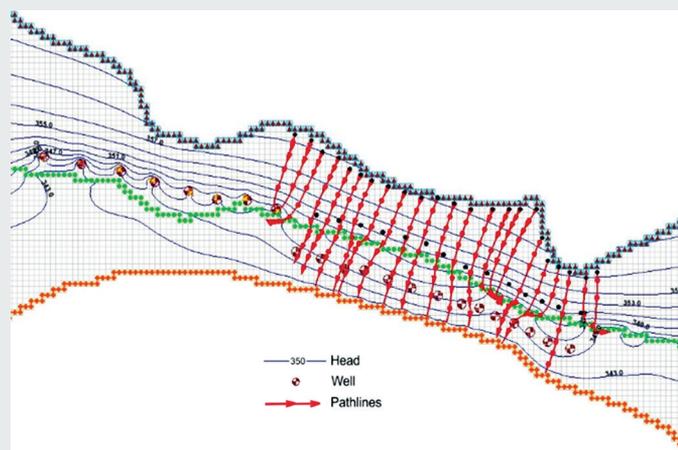


Рис. 3. Расположение дополнительных дренажных скважин между каналом и озером Балхаш. Сурет 3. Канал мен Балқаш көлі арасындағы қосымша дренаждық ұңғымалардың орналасуы. Figure 3. Location of additional drainage wells between the canal and Lake Balkhash.

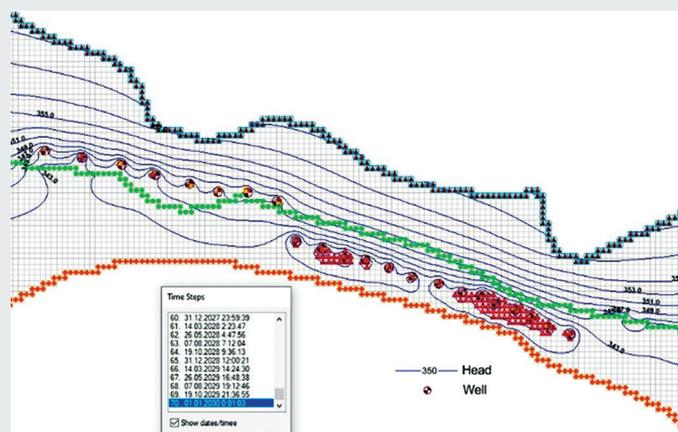


Рис. 4. Решение гидродинамической задачи для варианта бурения 14 дренажных скважин между каналом и озером Балхаш, полученное на конец прогнозного периода (2030 г.). Сурет 4. Болжамдық кезеңнің соңында алынған канал мен Балқаш көлі арасында 14 дренаждық ұңғыма бұрғылау нұсқасы бойынша гидродинамикалық есептің шешімі (2030 ж.). Figure 4. Solution of the hydrodynamic problem for the option of drilling 14 drainage wells between the canal and Lake Balkhash obtained at the end of the forecast period (2030).

²Жирков В. Реконструкция дренажного канала №1 с устройством вертикального дренажа на хвостохранилище цеха складирования хвостов Балхашской обогатительной фабрики: рабочий проект. – Караганда: ТОО НИЦ «Биосфера Казахстан», 2016. (на русском языке)

глинами и трещиноватыми гранитными массивами, заполненными вторичными образованиями [2].

Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и потерь воды под хвостохранилищем и прудом-накопителем. Расходные статьи баланса – испарение с поверхности земли, отток в дренажный канал, водоотбор дренажными скважинами.

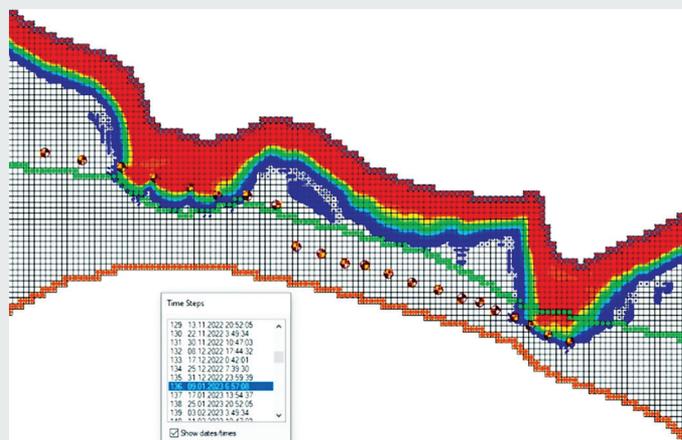


Рис. 5. Ореол распространения тяжелых металлов в подземных водах через три года после поступления для варианта бурения 14 дренажных скважин между каналом и озером Балхаш.

Сурет 5. Канал мен Балқаш көлі арасында 14 дренаждық ұңғымаларды бұрғылау нұсқасы үшін шығарылғаннан кейін үш жыл өткен соң жер асты суларында ауыр металдардың галогендік таралуы.

Figure 5. Halo distribution of heavy metals in groundwater three years after release for the option of drilling 14 drainage wells between the canal and Lake Balkhash.

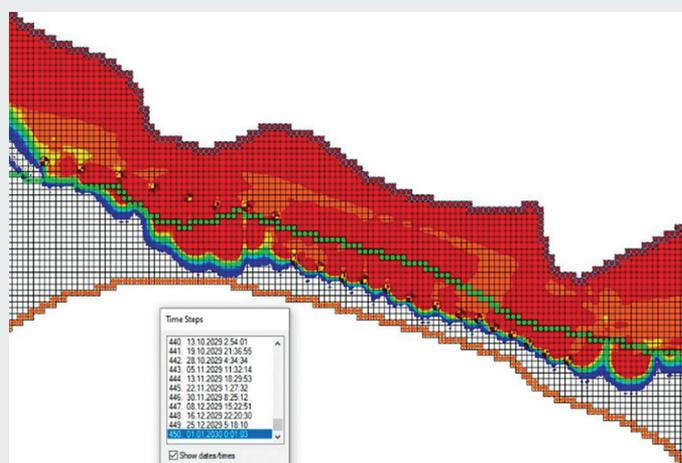


Рис. 6. Ореол распространения тяжелых металлов в подземных водах через десять лет после поступления (2030 г.).

Сурет 6. Жер асты суларында ауыр металдардың галогендік таралуы шығарылғаннан кейін он жылдан кейін (2030 ж.).

Figure 6. Halo distribution of heavy metals in groundwater ten years after release (2030).

Схематизация природных условий. Внешними границами модели на западе является пруд-накопитель, на востоке – хвостохранилище, на юге – оз. Балхаш. Водные объекты схематизированы граничными условиями I рода (Specified Head), предполагающими задание уровней грунтовых вод, и III рода (General Head), отражающими взаимосвязь подземных вод с внешней фильтрационной средой [3].

Границы, характеризующиеся отсутствием потока подземных вод, заданы граничными условиями II рода Barrier. Работа дренажного канала имитируется посредством задания граничных условий II рода Drain. Для дренажных скважин использованы граничные условия II рода Well, воспроизводящие работу водозаборных скважин с заданным расходом воды.

Хвостохранилище и пруд-накопитель являются источниками поступления загрязняющих веществ в подземные воды. Они отображаются на модели граничными условиями I рода Specified Concentration, подразумевающими задание значений концентраций загрязнителей вдоль границ водных объектов. Для прогнозирования распространения загрязнения от хвостохранилища и пруда-накопителя на модели были решены гидродинамическая и геомиграционная задачи. Для решения гидродинамической задачи использован модуль MODFLOW, для решения геомиграционной – модуль MT3DMS, входящие в состав системы математического моделирования подземных вод GMS³.

Создание математической модели. Исходные данные подготовлены с помощью географической информационной системы ArcGIS. Решение задач фильтрации подземных вод и миграции растворенных загрязняющих веществ осуществлялось с помощью системы математического моделирования подземных вод GMS. Моделируемая область в плане аппроксимирована равномерной ортогональной сеткой размером 249 × 223 с шагом 25 м, в разрезе – в виде 3 слоев мощностью от 1,12 м до 14,48 м. Значения коэффициентов фильтрации в горизонтальном и вертикальном направлениях составляют 2 м/сут. в северной части модели, 1,5 м/сут. – в южной, 0,5 м/сут. – в области плотин для первого и второго слоев. Коэффициент гравитационной водоотдачи задан 0,001.

Величина площадного питания задавалась равной 0,000384 м/сут. Внешние границы заданы граничными условиями General Head, Specified Head и Barrier, внутренние – Drain и Well. Вдоль границы хвостохранилища отметки воды составляют 366,5 м, пруда-накопителя – 354 м. По побережью оз. Балхаш отметки уровней равны 342,2 м. Границы, через которые не проходит поток подземных вод, заданы как непроницаемые. Дренажный канал имеет глубину 2 м и проводимость 10 (м²/сут.)/м. Водоотбор из дренажных скважин, пробуренных между хвостохранилищем и дренажным каналом, находится в пределах 120-143,86 м³/сут (1,389-1,665 л/с) [4].

Решение прогнозных задач осуществлялось в два этапа. На первом этапе на модели решалась

³Жирков В. Отчет по мониторингу подземных вод. – Караганда: ТОО НИЦ «Биосфера Казахстан», 2019. (на русском языке)

гидродинамическая задача, на втором – геомиграционная. Период прогнозирования составляет 10 лет. На модели выделено пять стрессовых периодов продолжительностью 2 года для увеличения точности решения и возможности реализации других вариантов постановки задачи. Решение прогнозной гидродинамической задачи представлено в виде карт гидроизогипс в различные моменты времени.

Геомиграционная задача отражает процесс переноса загрязняющих веществ потоком подземных вод от хвостохранилища и пруда-накопителя по направлению к оз. Балхаш. В процессе решения концентрация в источниках условно принята за 100%. Это дает возможность рассчитать процентное отношение концентрации в каждой из выделенных зон к концентрации загрязнителя в источнике. Результирующее значение концентрации загрязнителя представляет собой сумму рассчитанной концентрации и средней величины концентрации загрязнения территории. Исходя из этого, сформирована легенда к картам распространения тяжелых металлов потоком подземных вод (табл. 1) [5, 6].

Гидрогеологические условия на исследуемой территории останутся неизменными в течение всего прогнозного периода. Решение задачи переноса загрязняющих веществ подразумевает расчет траекторий переноса частиц потоком подземных вод и позволяет определить участки территории, загрязнение которых наиболее опасно с точки зрения попадания тяжелых металлов в оз. Балхаш. С помощью модуля MODPATH определены направления движения частиц и расстояния, на которые они переместятся за определенный промежуток времени. Результаты решения показывают, что наиболее подверженной загрязнению тяжелыми металлами является восточная часть моделируемой области.

Бурение дренажных скважин между дренажным каналом и оз. Балхаш. Дополнительные дренажные скважины в количестве 14 штук планируется пробурить до коренных пород между существующим дренажным каналом и оз. Балхаш в соответствии с построенными линиями тока. Их число совпадает с количеством

скважин, заданных при прогнозировании расположения скважин севернее дренажного канала (между дренажным каналом и хвостохранилищем). Результаты решения говорят об эффективности изменения местоположения скважин в направлении вниз по потоку от дренажного канала [7-9]. На модели решена прогнозная геомиграционная задача. По результатам можно сделать вывод, что при отсутствии изменения гидрогеологических условий в восточной части территории в течение прогнозного периода в оз. Балхаш попадет более 10% загрязняющих веществ от их количества в источнике.

Заключение

На основании результатов расчетов можно сделать вывод, что эксплуатация скважин позволит значительно снизить скорость распространения загрязнения. При этих условиях загрязнение от хвостохранилища не достигнет оз. Балхаш в течение прогнозного периода.

Сооружение дренажных скважин в районе пруда-накопителя не требуется, поскольку ореол загрязнения не достигнет оз. Балхаш в течение прогнозного периода. Бурение дренажных скважин до коренных пород между существующим дренажным каналом и хвостохранилищем (14 скважин глубиной от 20 м до 30 м) может значительно замедлить распространение загрязнения в течение прогнозного периода. Этим скважин должно быть достаточно, чтобы не допустить попадания загрязняющих веществ в оз. Балхаш. На эффективность работы общей дренажной системы влияет местоположение дополнительных дренажных скважин. Бурение дренажных скважин до коренных пород между существующим дренажным каналом и оз. Балхаш является оптимальным, поскольку требует эксплуатации меньшего количества скважин (глубиной от 20 м до 30 м). Требуется создать дополнительные створы наблюдательных скважин по направлению движения подземных вод от дренажного канала до оз. Балхаш и произвести чистку фильтровой части ранее пробуренных мониторинговых скважин для обеспечения водопритока в ствол скважин и ведения качественного мониторинга подземных вод на объекте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тилекова Ж.Т., Ошакбаев М.Т., Хаустов А.П. Оценка геоэкологического состояния Прибалхашья. // География и природные ресурсы. – 2016. – №1. – С. 173-181 (на русском языке)
2. Mikhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D.B. Рекомендации по предотвращению, устранению и смягчению негативного воздействия климатических изменений на подземные воды Казахстана. // 20-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM. – 2020. – Вып. 20. – С. 707-714 (на английском языке)
3. Mikhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D. Проблема обеспечения питьевой водой населения Мангистауской и Западно-Казахстанской областей. // 20-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM. – 2020. – Вып. 20. – С. 693-700 (на английском языке)
4. Mikhamedzhanov M.A., Arystanbaev Ya.U., Kazanbaeva L.M., Nurgaziyeva A.A., Rakhmetov I.K. Подземные питьевые воды Казахстана и проблемы их загрязнения. // 18-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM. – 2018. – Вып. 18. – С. 743-750 (на английском языке)
5. MacKinnon B.D., Baulch H.M., Segin J., Lindenschmidt K.E., Jardine T.D. Влияние гидрологической связности на зимнюю лимнологию в пойменных озерах дельты реки

- Саскачеван, Саскачеван. // Канадский журнал рыболовства и водных наук. – 2016. – Вып. 73. – С. 140-152 (на английском языке)
6. Yariyev V., Sagintayev Z., Verhoef A., Kassymbekova A., Baigaliyeva M., Zhumabayev D., Malgazhdar D., Abudanash D., Ongdas N., Jumassultanova S. Изменяющийся круговорот воды: Национальный природный парк «Бурабай», Северный Казахстан. // WIREs Water. – 2017. – Т. 4. – Вып. 5. – С. 1-14 (на английском языке)
 7. Jawadi H.A., Sagin J., Snow D.D. Детальная оценка качества подземных вод в бассейне Кабула, Афганистан, и их пригодность для использования в качестве воды для будущего развития. // Вода. – 2020. – №12(10). – С. 2890 (на английском языке)
 8. Issayeva L., Togizov K., Duczmal-Czernikiewicz A., Kurmangazhina M., Muratkhanov D. Рудоконтролирующие факторы как основа выделения перспективных участков в пределах Сырымбетского редкометального месторождения, Северный Казахстан. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2022. – Т. 16. – №2. – С. 14-21 (на английском языке)
 9. Abid M., Abid Z., Sagin J., Murtaza R., Sarbassov D., Shabbir M. Перспективы плавучей фотоэлектрической технологии и ее внедрение в странах Центральной и Южной Азии. // Международный журнал экологических наук и технологий. – 2019. – Т. 16. – С. 1755-1762 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тилекова Ж.Т., Ошакбаев М.Т., Хаустов А.П. Балқаш өңірінің геоэкологиялық жағдайын бағалау. // География және табиғи ресурстар. – 2016. – №1. – С. 173-181 (орыс тілінде)
2. Mukhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D.B. Қазақстандағы жер асты суларына теріс әсер ететін климаттық өзгерістердің алдын алу, жою және жұмсарту бойынша ұсыныстар. // 20-шы Халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция SGEM. – 2020. – Шығ. 20. – Б. 707-714 (ағылшын тілінде)
3. Mukhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D. Маңғыстау және Батыс Қазақстан облыстарының тұрғындарын ауыз сумен қамтамасыз ету мәселесі. // 20-шы Халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция SGEM. – 2020. – Шығ. 20. – Б. 693-700 (ағылшын тілінде)
4. Mukhamedzhanov M.A., Arystanbaev Ya.U., Kazanbaeva L.M., Nurgaziyeva A.A., Rakhmetov I.K. Қазақстанның жер асты ауыз суы және олардың ластану проблемалары. // 18-шы Халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция SGEM. – 2018. – Шығ. 18. – Б. 743-750 (ағылшын тілінде)
5. MacKinnon B.D., Baulch H.M., Sagin J., Lindenschmidt K.E., Jardine T.D. Канадалық балық шаруашылығы және су ғылымдары журналы. – 2016. – Шығ. 73. – Б. 140-152 (ағылшын тілінде)
6. Yariyev V., Sagintayev Z., Verhoef A., Kassymbekova A., Baigaliyeva M., Zhumabayev D., Malgazhdar D., Abudanash D., Ongdas N., Jumassultanova S. Су айналымының өзгеруі: Бурабай ұлттық табиғи саябағы, Солтүстік Қазақстан. // WIREs Water. – 2017. – Т. 4. – Шығ. 5. – Б. 1-14 (ағылшын тілінде)
7. Jawadi H.A., Sagin J., Snow D.D. Кабул бассейніндегі жер асты суларының сапасын егжей-тегжейлі бағалау, Ауғанстан, және болашақта суды игеру үшін жарамдылық. // Су. – 2020. – №12(10). – Б. 2890 (ағылшын тілінде)
8. Issayeva L., Togizov K., Duczmal-Czernikiewicz A., Kurmangazhina M., Muratkhanov D. Сырымбет сирек металдар кен орнында келешегі бар учаскелерді бөліп алудың негізі ретінде руданы бақылау факторлары, Солтүстік Қазақстан. // Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру. – 2022. – Т. 16. – №2. – Б. 14-21 (ағылшын тілінде)
9. Abid M., Abid Z., Sagin J., Murtaza R., Sarbassov D., Shabbir M. Қалқымалы фотоэлектрлік технологияның болашағы және оны Орталық және Оңтүстік Азия елдерінде енгізу. // Қоршаған ортаны қорғау ғылымы мен технологиясының халықаралық журналы. – 2019. – Т. 16. – Б. 1755-1762 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Tilekova Zh.T., Oshakbaev M.T., Khaustov A.P. Ocenka geoe'kologicheskogo sostoyaniya Pribalxash'ya [Assessment of the geoeological state of the Balkhash region]. // Geografiya i prirodnye resursy = Geography and natural resources. – 2016. – №1. – С. 173-181 (in Russian)
2. Mukhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D.B. Recommendations on prevention, elimination and mitigation of climatic change negative

- effect on the groundwater in Kazakhstan. // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2020. – Vol. 20. – P. 707-714 (in English)*
3. *Mukhamedzhanov M.A., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K., Muratkhanov D. Problem of drinking water supply to population of mangistau and west-kazakhstan regions. // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2020. – Vol. 20. – P. 693-700 (in English)*
 4. *Mukhamedzhanov M.A., Arystanbaev Ya.U., Kazanbaeva L.M., Nurgaziyeva A.A., Rakhmetov I.K. Underground drinking water of Kazakhstan and problems of their contamination. // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2018. – Vol. 18. – P. 743-750 (in English)*
 5. *MacKinnon B.D., Baulch H.M., Sagin J., Lindenschmidt K.E., Jardine T.D. Influence of hydrological connectivity on winter limnology in floodplain lakes of the Saskatchewan River Delta, Saskatchewan. // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2016. – Vol. 73. – P. 140-152 (in English)*
 6. *Yapiyev V., Sagintayev Z., Verhoef A., Kassymbekova A., Baigaliyeva M., Zhumabayev D., Malgazhdar D., Abudanash D., Ongdas N., Jumassultanova S. The changing water cycle: Burabay National Nature Park, Northern Kazakhstan. // WIREs Water. – 2017. – Vol. 4. – Issue 5. – P. 1-14 (in English)*
 7. *Jawadi H.A., Sagin J., Snow D.D. A detailed assessment of groundwater quality in the Kabul basin, Afghanistan, and suitability for future development. // Water. – 2020. – №12(10). – P. 2890. (in English)*
 8. *Issayeva L., Togizov K., Duczmal-Czernikiewicz A., Kurmangazhina M., Muratkhanov D. Ore-controlling factors as the basis for singling out the prospective areas within the Syrymbet rare-metal deposit, Northern Kazakhstan. // Mining of Mineral Deposits. – 2022. – Vol. 16. – №2. – P. 14-21(in English)*
 9. *Abid M., Abid Z., Sagin J., Murtaza R., Sarbassov D., Shabbir M. Prospects of floating photovoltaic technology and its implementation in Central and South Asian Countries. // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2019. – Vol. 16. – P. 1755-1762 (in English)*

Сведения об авторах:

Муратханов Д.Б., докторант PhD кафедры гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), младший научный сотрудник лаборатории региональной гидрогеологии и геоэкологии Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), d.muratkhanov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-4825-7692>

Рахимов Т.А., PhD, заведующий лабораторией региональной гидрогеологии и геоэкологии Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), t-rakhimov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0976-4643>

Рахметов И.К., младший научный сотрудник лаборатории региональной гидрогеологии и геоэкологии Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), issa-92@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6269-7734>

Авторлар туралы мәліметтер:

Муратханов Д.Б., Satbayev University, Гидрогеология, инженерлік және мұнайгаз геология кафедрасының PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан), Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты», Аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Рахимов Т.А., PhD, Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты», Аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының менеджері (Алматы қ., Қазақстан)

Рахметов И.К., Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты», Аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Muratkhanov D.B., PhD Student at the Department of Hydrogeology, Engineering and Petroleum Geology of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), Junior Researcher at the Laboratory of Redional Hydrogeology and Geocology of the Limited Liability Partnerships «Institute of Hydrogeology and Geocology named after U.M. Akhmedsafin» (Almaty, Kazakhstan)

Rakhimov T.A., PhD, Head at the Laboratory of Regional Hydrogeology and Geocology of the Limited Liability Partnerships «Institute of Hydrogeology and Geocology named after U.M. Akhmedsafin» (Almaty, Kazakhstan)

Rakhmetov I.K., Junior Researcher at the Laboratory of Redional Hydrogeology and Geocology of the Limited Liability Partnerships «Institute of Hydrogeology and Geocology named after U.M. Akhmedsafin» (Almaty, Kazakhstan)

Работа выполнена в рамках программы «Тепло-энергетический, минерально-сырьевой и лечебно-оздоровительный потенциал термоминеральных и промышленных подземных вод Казахстана. Оценка состояния и тенденций изменения гидрогеохимических показателей подземных вод под влиянием природно-климатических изменений и антропогенных нагрузок» (Грант № BR10262555).

Авторы высоко отмечают поддержку Комитета геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.