

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ НОВОДВОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЗАЛЬТОВ

В.Г. Жогло

Институт природопользования НАН Беларуси
ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь
E-mail: w.zhoglo50@tut.by

Выполнена схематизация гидрогеологических условий в пределах водосбора карьерных полей Пинской перспективной площади (ППП). Созданы региональная и локальная численные геофильтрационные модели ППП. Впервые для количественной оценки интенсивности инфильтрационного питания грунтовых вод (ГВ) использована цифровая карта рельефа и гидрографической сети водосбора карьерных полей ППП. В пределах моделируемой области оценены естественные ресурсы подземных вод, величина которых расчленена на подземный сток в реки и разгрузку ГВ испарением. Выполнено численное моделирование фильтрации подземных вод при различных схемах осушения карьерных полей в условиях стационарного и нестационарного режимов фильтрации. Даны рекомендации по проведению дальнейших работ на территории ППП.

ВВЕДЕНИЕ

В результате совместно выполненных геолого-разведочных и научно-исследовательских работ в составе Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016–2020 гг. Государственным предприятием «НПЦ по геологии» в пределах Пинской перспективной площади Пинского района Брестской области открыто месторождение Новодворское – первое в Республике Беларусь месторождение базальтов и сопутствующих базальтовых туфов. Установлено, что базальты и базальтовые туфы Новодворского месторождения пригодны в качестве сырья для производства базальтового волокна, стекол, стеклокристаллических и керамических материалов, а также пористых заполнителей, широко используемых в промышленном и гражданском строительстве. Организация промышленной разработки месторождения базальтов позволит расширить минерально-сырьевую базу республики, внести весомый вклад в решение актуальных вопросов импортозамещения и ресурсосбережения.

Эффективность разработки Новодворского месторождения в значительной степени зависит от

гидрогеологических условий ППП и их изменения в процессе ведения горных работ. Для решения разнообразных гидрогеологических задач, связанных с освоением Новодворского месторождения базальтов, в Институте природопользования НАН Беларуси по договору с ГП «НПЦ по геологии» создана региональная численная геофильтрационная модель (ЧГФМ) водосбора карьерных полей ППП (рабочее название модели – «Reg00baz»; автор разработки В.Г. Жогло). Модель построена на базе лицензионного программного обеспечения (ПО) ModTech ЗАО «Геолинк Консалтинг» (вычислительная программа GWFS, разработчик А.А. Рошаль, Москва). Система управления качеством разработки ПО ЗАО «Геолинк Консалтинг» в 2002 г. сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2000. Программа GWFS (Ground Water Flow Simulation – моделирование фильтрации подземных вод) предназначена для решения гидрогеологических задач, связанных с анализом и прогнозом движения подземных вод. Она позволяет осуществлять моделирование стационарных и нестационарных задач геофильтрации в многослойных и квазитрехмерных изотропных и анизотропных в плане системах [4].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО СХЕМАТИЗАЦИЯ

Объектом исследования являются подземные воды Пинской перспективной площади. Численная геофильтрационная модель ППП предназначена для моделирования фильтрации подземных вод при различных схемах осушения карьерных полей, прогнозных оценок водопритоков в горные выработки, прогноза уровня режима и баланса подземных и поверхностных вод на территории ППП.

Размеры исследуемого объекта составляют 66,0 км по оси X (с запада на восток) и 42,0 км по оси Y (с юга на север). В вертикальном разрезе подземные воды приурочены к четвертичным, палеогеновым, меловым, верхнепротерозойским отложениям и породам кристаллического фундамента. Гидрогеологические условия освоения месторождений полезных ископаемых в значительной степени определяются наличием в разрезе непроницаемых и слабопроницаемых слоев, даже если они имеют подчиненное значение в строении обводненной толщи пород. Поэтому воспроизведению слабопроницаемых отложений в структуре геофильтрационной модели уделено особое внимание.

По материалам предварительной разведки Новодворского месторождения базальтов и сопутствующих туфов на его территории и прилегающих землях ГП «НПЦ по геологии» (В.А. Зубок и В.Б. Дорошенко) выделено пять слабопроницаемых стратиграфических толщ (комплексов): 1) слабоводоносный днепровский моренный комплекс; 2) слабоводоносный березинский моренный комплекс; 3) пачка алевритов в кровле харьковского горизонта; 4) слабоводоносный киевский терригенный комплекс; 5) весьма слабоводоносная (практически безводная) вулканогенная толща ратайчицкой свиты и малоритского магматического комплекса нижнего венда.

По наличию в разрезе перечисленных выше слабопроницаемых толщ на исследуемой территории нами выделены следующие водоносные и слабопроницаемые слои и пласты (сверху вниз):

– 1-й водоносный пласт (1ВП) – водоносный горизонт (комплекс) четвертичных отложений, залегающих на днепровской морене (грунтовый водоносный горизонт);

– 1-й разделяющий слой (1РС) – слабоводоносный днепровский моренный комплекс;

– 2-й водоносный слой (2ВС) – водоносный березинский-днепровский водно-ледниковый комплекс;

– 2-й разделяющий пласт (2ПП) – включает отложения березинского моренного комплекса и пачку алевритов в кровле харьковского горизонта;

– 3-й водоносный слой (3ВС) – водоносный харьковский терригенный комплекс;

– 3-й разделяющий слой (3РС) – слабоводоносный (слабопроницаемый) киевский терригенный комплекс;

– 4-й водоносный слой (4ВС) – верхнемеловой терригенно-карбонатный комплекс;

– 4-й разделяющий слой (4РС) – весьма слабоводоносная вулканогенная толща ратайчицкой свиты и малоритского магматического комплекса нижнего венда;

– 5-й водоносный пласт (5ВП) – пинские отложения рифея и зона трещиноватости архейских-нижнепротерозойских магматических и метаморфических пород (пинский водоносный горизонт).

1-й водоносный слой – грунтовый водоносный горизонт (ГВГ). Включает отложения, залегающие на днепровской морене. К ним относятся слабоводоносный голоценовый болотный горизонт и водоносный поозерский озерно-аллювиальный комплекс.

Голоценовый болотный горизонт имеет ограниченное распространение. Водовмещающие породы представлены торфом различной степени разложения, супесью гумусированной, мощность которых составляет 0,30–1,95 м. По данным геолого-съемочных работ глубина залегания уровней грунтовых вод не превышает 0,5–0,6 м. Коэффициент фильтрации, определенный по результатам откачки, равен 0,08 м/сут.

Водоносный поозерский озерно-аллювиальный комплекс имеет повсеместное распространение, залегает с поверхности или под слоем болотных осадков. Водовмещающие породы представлены песками разнозернистыми, преимущественно мелкозернистыми, полевошпатово-кварцевыми, с включением гравия. Их мощность изменяется от 6,5 до 25,0 м, преобладают значения 15,0–20,0 м. Воды горизонта безнапорные. Глубина залегания уровней 0,5–3,0 м, по данным обследования колодца в д. Новый Двор – 2,3 м. Коэффициенты фильтрации, определенные по результатам опытных откачек, варьируют от 3,5 до 6,0 м/сут. Взяв за основу имеющиеся данные, на геофильтрационной модели «Reg00baz» коэффициент водопроводимости 1-го водоносного слоя принят равным 85 м²/сут.

1-й разделяющий слой – слабоводоносный днепровский моренный комплекс. На Пинской перспективной площади днепровские моренные отложения распространены фрагментарно. Мощность моренных отложений в пределах ме-

сторождения Новодворское изменяется от 0,6 м до 13,7 м. Представлены они песком полевошпатово-кварцевым, разномзернистым, с включением гравия и гальки кварца, гранита и карбонатных пород. Фильтрационные свойства днепровской морены на территории Новодворского месторождения не изучались. Коэффициенты фильтрации моренных образований, определенные Белорусской гидрогеологической экспедицией в лабораторных условиях на приборе «Большой монолит» по образцам пород, отобраным на участке Уза (район Гомеля), изменяются от 0,0003 до 0,1 м/сут. По данным МОГИС (А.В. Беляшов), коэффициент перетока днепровской морены изменяется от 0,02 до 0,0002 1/сут (среднее значение 0,003 1/сут). Близкие результаты получены по району Гомельского химзавода [3]: коэффициент перетока, определенный методом математического моделирования по материалам длительных режимных наблюдений, равен 0,00014–0,0036 1/сут (среднее значение 0,0011 1/сут). На модели «Reg00baz» значение коэффициента перетока днепровской морены, учитывая ее опесчаненность, принято равным 0,01 1/сут.

2-й водоносный слой – водоносный березинский-днепровский водно-ледниковый комплекс (БДВК). Распространен локально в северо-западной части территории исследований, отсутствуя в ее северо-восточной и юго-восточной частях. Мощность отложений колеблется от 1,8 м до 35,5 м, в основном 6,0–10,0 м. Водовмещающие породы представлены песками, преимущественно крупно- и среднезернистыми, гравелистыми, полевошпатово-кварцевыми, с включением гравия, иногда слабоглинистыми, с прослоями супесей, суглинков и глин мощностью до 5,2 м.

Днепровская морена, залегающая в кровле водоносного березинского-днепровского водно-ледникового комплекса, имеет небольшую мощность и сложена в основном песками разномзернистыми, песчано-гравийным и гравийно-галечным материалом, а в северной части участка месторождения полностью размыта, в кровле березинского-днепровского водоносного комплекса залегает поозерский озерно-аллювиальный комплекс, с которыми они образуют единую водоносную толщу. По условиям залегания воды комплекса безнапорные. Уровни устанавливаются на глубинах 1,65–5,0 м.

Объединенный плейстоценовый водоносный комплекс (ОПВК) распространен повсеместно и объединяет несколько горизонтов различного возраста и генезиса – в основном это поозерские озерно-аллювиальные отложения, залегающие с

поверхности, днепровская морена, березинские-днепровские водно-ледниковые отложения, залегающие на породах палеогена. Суммарная мощность плейстоцена в пределах участка месторождения изменяется от 19,0 м до 30,9 м, в среднем составляя 23,6 м. Водовмещающими породами являются разномзернистые, преимущественно мелкозернистые, реже средне-крупнозернистые пески. Моренные отложения представлены песками разномзернистыми, с включением гравия и гальки.

Уровни подземных вод ОПВК залегают на глубине 1,65–2,53 м. Положение зеркала грунтовых вод находится на отметке 135,43 м. Коэффициент фильтрации, определенный графоаналитическим методом по данным опытной кустовой откачки из скважины 2г, изменяется от 19 до 24 м/сут, в среднем составляя 22 м/сут. На основании этих данных среднее значение водопроводимости ОПВК $k_m = k \cdot m = 22,0 \cdot 23,6 = 519,2 \text{ м}^2/\text{сут}$. Оно характеризует суммарную водопроводимость ($k_m = k_{m1} + k_{m2}$) 1-го и 2-го водоносных слоев геофильтрационной модели «Reg00baz». Так как для 1-го водоносного слоя $k_{m1} = 85,0 \text{ м}^2/\text{сут}$, то для 2-го слоя $k_{m2} = 519,2 - 85,0 = 434,2 \text{ м}^2/\text{сут}$. Это значение и принято в модели «Reg00baz».

2-й разделяющий пласт. Объединяет отложения березинского моренного комплекса и пачку алевритов в кровле харьковского горизонта. Слой конечно-моренных валунно-галечно-песчаных отложений мощностью 1,0–6,4 м вскрыт в западной части участка работ на глубине 19,3–20,0 м. Он подстилается верхней пачкой харьковского горизонта, сложенной слабослюдистыми глауконитово-кварцевыми алевритами мощностью от 8,3–19,8 м. Фильтрационные свойства 2-го РП на территории Новодворского месторождения не изучались. Проницаемость алевритов палеогена в направлении, перпендикулярном напластованию пород, детально изучена в районе Гомельского химического завода. Коэффициент перетока, определенный методом математического моделирования по материалам длительных режимных наблюдений, изменяется от 0,00001 до 0,00033 1/сут [3]. Его среднее значение, равное 0,0001 1/сут, использовано в модели «Reg00baz».

3-й водоносный слой – водоносный харьковский терригенный комплекс. Распространен почти повсеместно. Отсутствует лишь в северо-восточной части района исследований. Водовмещающие породы представлены песками разномзернистыми, среднезернистыми, реже – крупно-среднезернистыми, глауконитово-кварцевыми, слюдистыми, с прослоями алевритов. Мощность песчаной пачки

изменяется от 3,1 м до 15,0 м. По данным опытно-фильтрационных работ коэффициент водопроницаемости колеблется от 40 до 75 м²/сут, в среднем составляя 59,0 м²/сут. Это значение и принято в модели «Reg00baz».

3-й разделяющий слой – слабопроницаемый (слабоводоносный) киевский терригенный комплекс. Распространен повсеместно. Представлен комплекс слюдистыми глауконитово-кварцевыми алевролитами, в меньшей степени – тонкозернистыми песчаниками, песками мелко-среднезернистыми, алевритистыми. Мощность отложений варьирует от 3,1 м до 15,4 м, локально увеличиваясь в понижениях палеорельефа. Фильтрационные свойства киевских отложений на территории Новодворского месторождения не изучались. По аналогии со 2-м РС коэффициент перетока алевритов киевского горизонта принят равным 0,0001 1/сут.

4-й водоносный слой – верхнемеловой терригенно-карбонатный комплекс. Слабоводоносный верхнемеловой комплекс широко распространен на территории района исследований, но в пределах подсчетных блоков полезного ископаемого практически отсутствует. Залегает на глубине от 43,4 м до 61,6 м. Водовмещающие породы представлены мелом, иногда мергелистым, мощностью от 1,9 м до 28,2 м, в нижней части – песками глауконитово-кварцевыми мощностью от 0,3 м до 4,8 м. Отложения в различной степени трещиноваты, и к ним приурочены пластово-трещинные воды напорного типа. К югу от Новодворского месторождения, в районе Пинска, отмечается резкое увеличение водообильности туронских отложений верхнего мела. Коэффициент водопроницаемости толщи колеблется от 1,7 м²/сут до 255 м²/сут, причем наибольшая его величина отмечена в районе водозабора Пина-1. Из-за существенного увеличения водообильности верхнемелового терригенно-карбонатного комплекса от участка месторождения в направлении р. Припять и Пина на геофильтрационной модели «Reg00baz» коэффициент водопроницаемости 4-го РС от северной границы моделируемой области до середины Новодворского месторождения базальтов задается постоянным и равным 5,0 м²/сут. В южном направлении происходит равномерное увеличение km_4 от 5,0 м²/сут в средней части модели до $km_4 = 255,0$ м²/сут в долинах р. Припять и Пина.

4-й разделяющий слой – почти безводная вулканогенная толща ратайчицкой свиты и малоритского магматического комплекса нижнего венда. Верхняя часть ратайчицкого терригенно-эффузивного комплекса сложена базальтами толеито-

выми и долеритами. По результатам лабораторных исследований пористость базальтов в естественных условиях составляет 2,3–3,3%, естественная влажность – 0,9–3,2%, что подтверждает заключение, полученное по результатам геофизических исследований о безводности базальтов. Средняя мощность толщи в пределах блоков подсчета запасов Новодворского месторождения по категориям $C_1 + C_2$ равна 71,1 м. На основе общих сведений о вертикальной проницаемости безводных (весьма слабоводоносных) вулканогенных отложений в геофильтрационной модели «Reg00baz» коэффициент перетока 4-го РС задан равным 0,00001 1/сут. Скорее всего, это несколько завышенное значение. Его уточнение будет производиться в процессе калибровки модели и по мере поступления новых материалов.

5-й водоносный пласт – пинские отложения рифея и зона трещиноватости архейских-нижнепротерозойских магматических и метаморфических пород (пинский водоносный горизонт). Водоносный ратайчицкий терригенно-эффузивный комплекс в пределах района месторождения распространен повсеместно. К туфопесчаникам и песчаникам, залегающим под базальтами, приурочены трещинно-поровые воды напорного типа. Под ратайчицкими отложениями распространены разнозернистые песчаники горбашевской свиты, общая мощность которых изменяется в пределах 3,0–17,0 м. Песчаники массивные, часто переходящие в рыхлые. Информации о водообильности данных отложений в пределах района Новодворского месторождения нет. Пинские отложения рифея вскрыты на глубине 134,0 м. Водовмещающие породы представлены песчаниками от тонко- до крупнозернистых, преимущественно мелкозернистыми, на железистом, известковистом, реже глинистом цементе, а также туфогенно-осадочными породами. К ним приурочены трещинно-поровые воды. На участке месторождения они опробованы совместно с песчаниками пинских отложений рифея опытной одиночной откачкой из разведочной гидрогеологической скважины 1г. Интервал опробования 115,0–150,0 м, водоприемная часть скважины – открытый ствол диаметром 112 мм. Пьезометрический уровень установился на глубине 1,51 м от поверхности земли. Коэффициент водопроницаемости отложений, определенный различными методами обработки откачки, изменяется от 34 м²/сут (Дюпюи) до 64–71 м²/сут ($S - lgt$). На геофильтрационной модели «Reg00baz» принято его среднее значение (67,5 м²/сут).

Водоносная зона трещиноватости архейских-нижнепротерозойских магматических и мета-

морфических пород (AR-PR₁) приурочена к верхней выветрелой зоне пород кристаллического фундамента. Водовмещающие отложения, представленные гранитами и гранодиоритами в различной степени трещиноватыми, вскрыты к югу от месторождения на глубине 412–457 м. Они безводны и в гидродинамическом отношении представляют собой непроницаемую границу.

ГИДРОГРАФИЯ И РЕЛЬЕФ

В численной геофильтрационной модели «Reg00baz» гидрография и рельеф представлены цифровой картой рельефа и гидрографической сети водосбора карьерных полей ППП и прилегающих территорий. Планово-высотное согласование абсолютных отметок рельефа и гидрографической сети выполнено Ю.Ю. Трифоновым (рис. 1).

Основными водными объектами на территории ППП и сопредельных земель являются р. Вислица и водохранилище Погост, расположенное в 1,5–2,0 км к востоку от Новодворского месторождения, а также множественные мелиоративные каналы и каналы. С юга объект исследований ограничен р. Припять, Пина и Ясельда (см. рис. 1).

Водохранилище Погост находится в Пинском районе Брестской области. Оно построено в 1976 г. на месте бывшего оз. Погост и прилегающих к нему земель для орошения земель совхоза «Парохонский» и водообеспечения рыбоводного хозяйства «Полесье». Площадь водоема – 1620 га, максимальная глубина – 5,4 м, средняя глубина – 3,4 м. Водохранилище окружено дамбой-плотиной длиной 16,2 км. Объем воды – 54,5 км³, площадь водосборного бассейна – 710 км², нормальный подпертый уровень (НПУ) – 139 м, средний многолетний сток – 89,3 млн м³. Дно песчаное. Для регулирования объема воды оборудован водоспуск. Водохранилище наполняется из р. Бобрик по водоподводящему каналу длиной 8,5 км при помощи шлюзов-регуляторов. Колебания уровня воды на протяжении года составляют 2–3 м.

Река Вислица – правый приток Бобрика. Длина реки – 41,8 км. Площадь водосбора – 543 км². Среднегодовой расход воды в устье – 2 м³/с. Основное направление течения – юго-восток, в нижнем течении – восток. Средний наклон водной поверхности 0,2 м/км. Скорость течения воды – 0,2 м/с. Рельеф водосбора р. Вислица плосковолнистый, с песчаными холмами и грядами высотой до 6–8 м.

КАРЬСНЬЯ ВЫКАПНІ

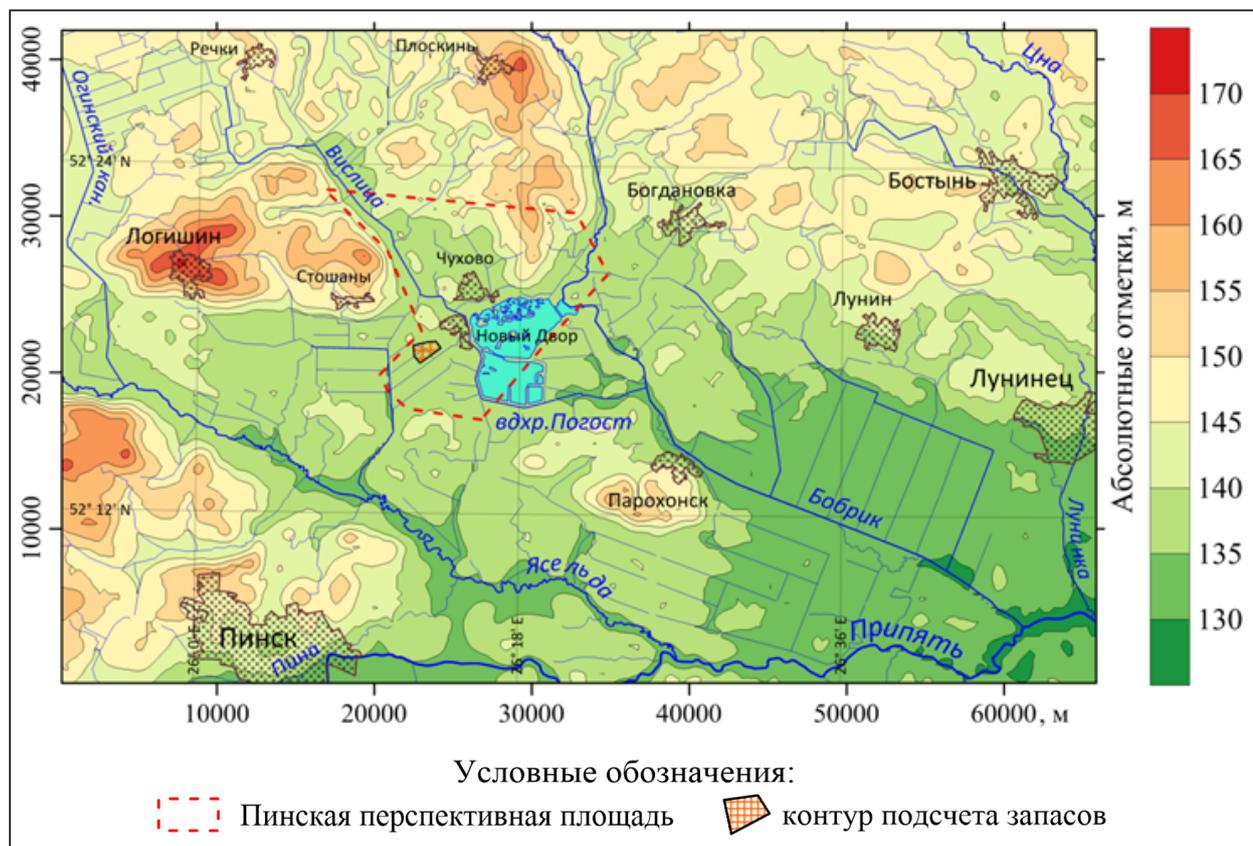


Рисунок 1 – Цифровая карта рельефа и гидрографической сети водосбора карьерных полей ППП и прилегающих территорий (составил Ю.Ю. Трифонов)

Долина неясно выражена. Склоны пологие, сливаются с прилегающей местностью, прорезаны сетью мелиоративных каналов.

До 1978 г. Вислица протекала через оз. Погостское, после создания на его месте наливного водохранилища Погост протекает по новому руслу (каналу), обгибая водохранилище с юга. Долина в верхнем течении невыразительная, между д. Юзефины и Новый Двор трапециевидная, шириной 1–3 км. Пойма двухсторонняя, шириной 0,3–0,7 км. Русло на всем протяжении канализовано (ширина до 4 м, ниже д. Новый двор до 20 м), обвалована дамбами. Притоки Вислицы – каналы Липники и Доброславка (слева). На весеннее половодье приходится 65% годового стока. Отметки уровней в реке – 135,4–135,1 м, то есть на 3–4 м ниже уровня в водохранилище Погост. В 1,8–2,0 км западнее месторождения Новодворское с севера на юг протекает Любельпольский канал, который начинается от р. Вислица северо-западнее д. Новый Двор, а впадает в р. Ясельда.

Непосредственно на площади Новодворского месторождения водотоки отсутствуют. Исключение составляют нескольких мелиоративных каналов второго порядка. Магистральные каналы, в основном, имеют ширину 10–13 м, глубину – 1,7–2,0 м; мелиоративные каналы второго порядка: ширина – 3,0–7,0 м, глубина – 1,0–1,4 м. Скорость течения воды в магистральных каналах – 0,1 м/с.

СТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНОЙ ЧИСЛЕННОЙ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Для воспроизведения на модели «Reg00baz» геологического строения и гидрогеологических условий ППП моделируемая область в плане (см. рис. 1) разбита на квадратные блоки (ячейки) размером 300×300 м (всего 220 блоков по оси X и 140 блоков по оси Y). В целом 30 800 расчетных блоков в каждом слое.

В разрезе выделено 11 слоев (пластов): 1) зона аэрации; 2) поверхностные водоисточники; 3) грунтовый водоносный горизонт (1-й водоносный пласт); 4) слабоводоносный днепровский моренный комплекс (1-й разделяющий слой); 5) водоносный березинский-днепровский водно-ледниковый комплекс (2-й водоносный слой); 6) березинский моренный комплекс и пачка алевроитов в кровле харьковского горизонта (2-й разделяющий пласт); 7) водоносный харьковский терригенный комплекс (3-й водоносный слой); 8) слабоводоносный (слабопроницаемый) киевский терригенный

комплекс (3-й разделяющий слой); 9) верхнемеловой терригенно-карбонатный комплекс (4-й водоносный слой); 10) практически безводная вулканогенная толща ратайчицкой свиты и малоритского магматического комплекса нижнего венда (4-й разделяющий слой); 11) пинские отложения рифея и зона трещиноватости архейских-нижнепротерозойских магматических и метаморфических пород – ратайчицкий водоносный горизонт (5-й водоносный пласт).

Параметры проницаемых слоев (пластов, водоносных горизонтов). Для проницаемых слоев заданы: 1) карты-идентификаторы граничных условий; 2) цифровые карты абсолютных отметок уровней подземных вод (напоров); 3) коэффициенты проницаемости; 4) коэффициент упругой емкости напорных водоносных горизонтов; 5) коэффициент гравитационной емкости для верхнего безнапорного водоносного горизонта.

Параметры разделяющих слоев (пластов). В вычислительной программе GWFS для моделирования вертикальных составляющих потоков подземных вод непосредственно в проницаемом слое задаются коэффициенты, характеризующие вертикальную проницаемость слоя по направлению оси Z (то есть вниз). Это могут быть параметры как самого проницаемого слоя, так и интегральные параметры перетекания данного и нижележащего слабопроницаемого слоев.

По результатам моделирования предусмотрено формирование цифровых карт следующих параметров: 1) модельные изменения уровней подземных вод в слое; 2) модельные глубины залегания уровней ГВ; 3) модельные абсолютные отметки уровней подземных вод; 4) модельные (межблоковые) расходы подземных вод от узловых точек оси X и оси Y; 5) модельные (межблоковые) перетоки (по оси Z) подземных вод от узловых точек в нижележащий слой.

Боковые внешние границы модели. На боковых внешних границах модели «Reg00baz» приняты граничные условия 2-го рода с нулевым расходом ($Q = 0$).

Нижняя граница модели. На модели «Reg00baz» нижней границей области фильтрации является подошва зоны трещиноватости отложений кристаллического фундамента (граничное условие 2-го рода, $Q = 0$).

Внутренние границы модели. Внутренними границами являются реки, водохранилище Погост и мелиоративные каналы, которые задаются граничными условиями 3-го рода ($Q = f(H)$). Параметр взаимосвязи гидрографической сети с верхним во-

доносным слоем на исходной модели принят равным 0,013 л/сут.

Верхняя граница ЧГФМ. На модели «Reg00baz» верхней границей области фильтрации является уровенная поверхность ГВ. К верхней границе модели относится и гидрографическая сеть ППП. Количественное представление уровенной поверхности ГВ, включая и межпластовые водоносные горизонты, зависит от особенностей решаемой гидродинамической задачи. При постоянной величине площадного питания ГВ задача решается не в напорах (Н), а в изменениях напоров подземных вод. Такое условие позволяет резко упростить реализацию гидродинамических условий на верхней границе – принять уровенную поверхность ГВ горизонтальной, то есть напоры грунтовых вод по всей территории задать одним числом (обычно принимается $H = 0$).

Назначение созданной модели «Reg00baz» предопределяет необходимость решения гидродинамических задач в напорах (а не в изменениях напоров). Для решения задач в такой постановке, наряду со стандартным набором исходных параметров, требуются количественные сведения об интенсивности инфильтрационного питания подземных вод по всей площади моделируемого объекта. Такие сведения по ППП в настоящее время отсутствуют. Оценка интенсивности инфильтрационного питания возможна при наличии карты гидроизогипс и данных об основных гидрогеологических параметрах. Карта гидроизогипс по территории ППП также отсутствует. В период проведения предварительной разведки Новодворского месторождения базальтов выполнено бурение восьми разведочных и одной гидрогеологической скважины, по которым проведены режимные наблюдения и получены сведения по абсолютным отметкам и глубинам залегания грунтовых вод. По этим точкам, расположенным весьма компактно на небольшом участке, возможно лишь сопоставление модельных и натурных данных по уровням грунтовых вод при калибровке модели.

В связи с отсутствием представительной карты гидроизогипс для количественной оценки интенсивности инфильтрационного питания грунтовых вод нами использована цифровая карта рельефа и гидрографической сети водосбора карьерных полей ППП, составленной Ю.Ю. Трифоновым (см. рис. 1). Принятый подход объясняется наличием связи между рельефом местности и уровенной поверхностью грунтовых вод. Гидроизогипсы – это линии, соединяющие точки с одинаковой абсолютной отметкой поверхности (уровня) грунтовых вод, линии равного напора. Система этих линий, построенная для

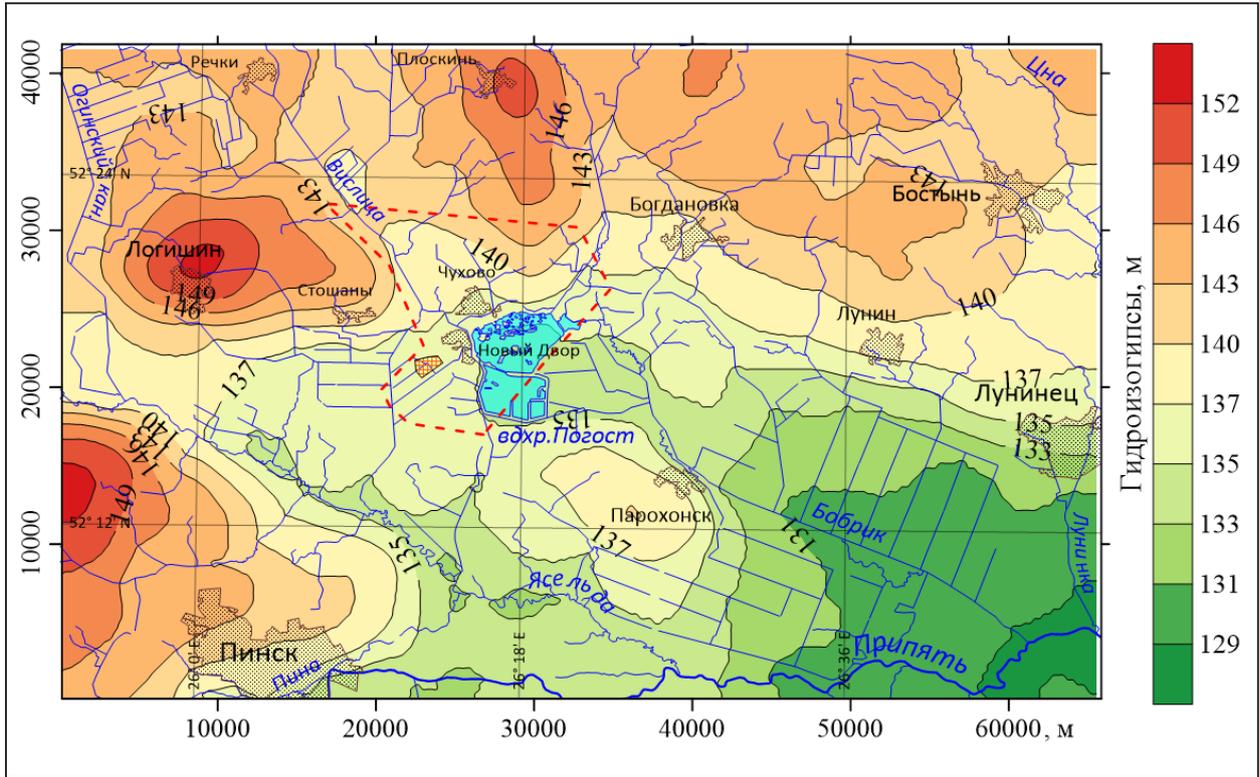
любого участка территории, характеризует положение (абсолютные отметки) реально существующей поверхности грунтового водоносного горизонта. В соответствии с общей закономерностью эта поверхность, как правило, в сглаженной форме «повторяет» поверхность земли, снижаясь от возвышенных (междуречных) участков территории к дренирующим понижениям в рельефе [1]. Легко показать, что эта связь имеет не только статистический, но и генетический характер. Другими словами, в принятом нами подходе уровенная поверхность грунтовых вод совмещается с поверхностью земли. Если учесть очень низкую степень дренированности территории ППП, то принятое допущение не вносит существенных ошибок в значения определяемых элементов потока (напоров грунтовых вод и интенсивности инфильтрационного питания). Приемлемую достоверность геофильтрационной модели должна обеспечить ее калибровка.

Инфильтрационное питание (испарение) ГВ через зону аэрации реализовано в модели «Reg00baz» на основе методики, разработанной нами совместно с А.А. Плетневым [2]. Результатом решения задачи в такой постановке являются расчетные значения питания ГВ по каждому блоку модели. Данный параметр представляет собой интегральную величину площадного (поблочного) питания ГВ, которое (при заданных гидрогеологических параметрах, граничных условиях и величине подземного стока в реки) обеспечивает принятые к расчету УГВ. Проверка и уточнение полученных значений поблочного питания ГВ выполняется путем решения прямой геофильтрационной задачи. Для этого интенсивность инфильтрационного питания (испарения), а также поверхностные водоемы и водотоки задаются на модели в явном виде.

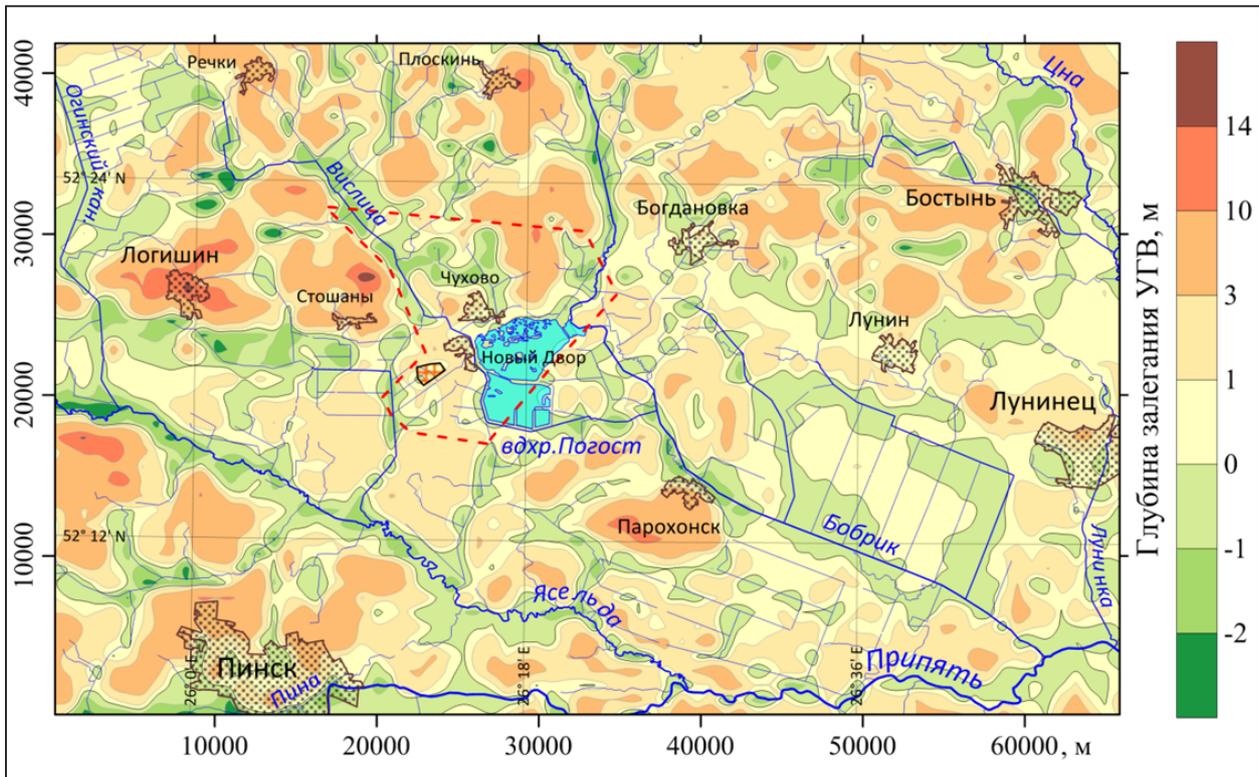
По результатам моделирования фильтрации подземных вод в естественных условиях (без задания на модели гидротехнических сооружений) оценена структура баланса подземных и поверхностных вод, построены карты гидроизогипс, глубин залегания и интенсивности инфильтрационного питания грунтовых вод.

Карты гидроизогипс (рис. 2) и глубин залегания уровней ГВ (рис. 3) характеризуют собой гидрогеологические условия исследуемой территории. Карта интенсивности инфильтрационного питания (рис. 4) представляет собой наиболее обеспеченную часть естественных ресурсов подземных вод и их дифференциацию по площади распространения ГВГ.

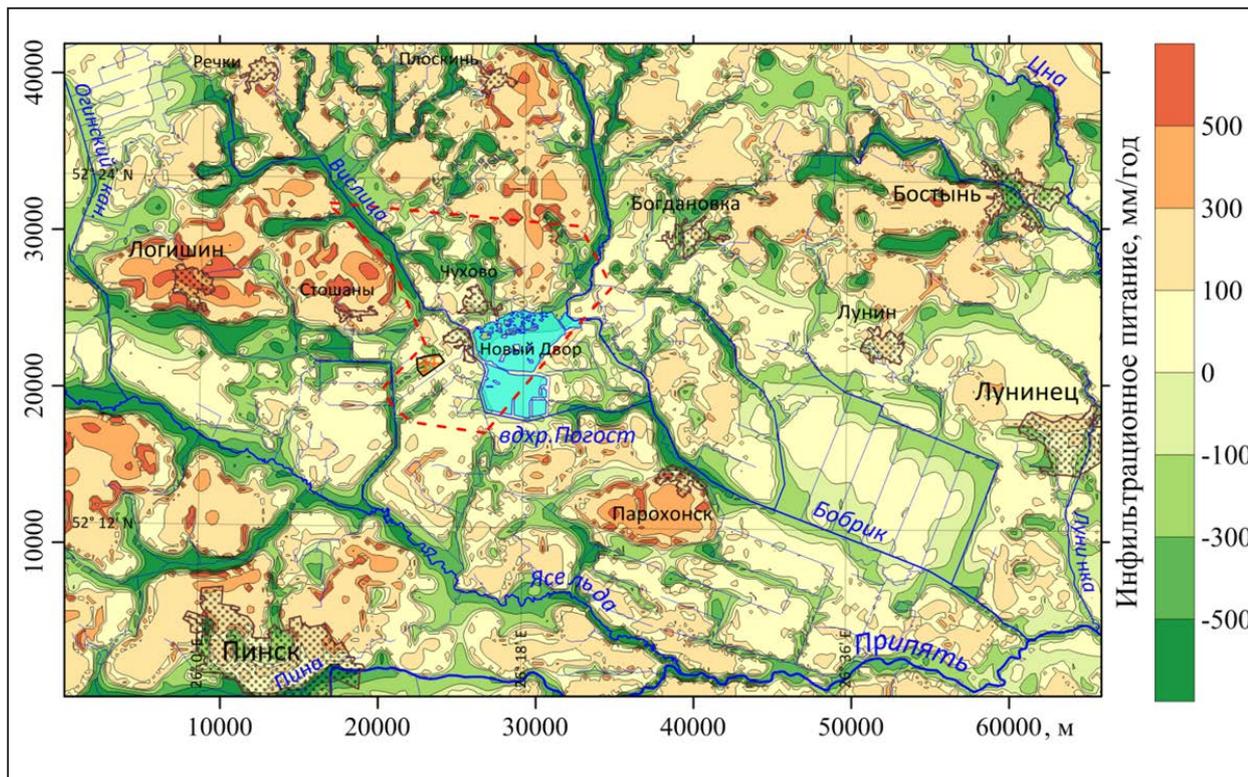
Структура водного баланса в обобщенном виде представлена в табл. 1. Суммарная величина результирующего питания грунтовых вод, равная



Условные обозначения см. на рис. 1
Рисунок 2 – Карта гидроизогипси ППП и прилегающих земель (по результатам моделирования)



Условные обозначения см. на рис. 1
Рисунок 3 – Карта глубин залегания урвненной поверхности грунтовых вод ППП и прилегающих земель (по результатам моделирования)



Условные обозначения см. на рис. 1

Рисунок 4 – Карта интенсивности площадного питания и разгрузки грунтовых вод через зону аэрации на территории ППП и прилегающих земель (по результатам моделирования)

391 628 м³/сут (высота слоя воды 51,6 мм/год), представляет собой наиболее обеспеченную часть естественных ресурсов подземных вод исследуемой территории, площадь которой равна 2772 км². Расход грунтовых вод осуществляется в поверхностные водоисточники (184 207 м³/сут; слой стока 24,3 мм/год) и путем испарения с депрессионной поверхности через зону аэрации (243 907 м³/сут; высота слоя воды 32,1 мм/год). В естественные ре-

сурсы не входит величина питания грунтовых вод за счет восходящей разгрузки межпластовых вод (350 189 м³/сут), так как она представляет собой расход транзитного потока подземных вод; нисходящее перетекание грунтовых вод в межпластовые водоносные горизонты на повышенных элементах рельефа и эквивалентная разгрузка межпластовых вод в грунтовый водоносный горизонт в долинах рек и других эрозионных врезках.

Таблица 1 – Структура баланса подземных и поверхностных вод ППП и прилегающих территорий в естественных условиях (стационарный режим фильтрации, м³/сут)

Водоносный горизонт	Направление процесса	Питание (+) / испарение (-) грунтовых вод	Реки	Расход подземных вод через:		Дисбаланс, м ³ /сут
				подошву горизонта	кровлю горизонта	
ГВГ	Приток	391 628	36 488	350 186	0	-0,33
	Отток	243 907	184 207	350 189	0	
БДВК	Приток	0	0	39 836	350 189	1,77
	Отток	0	0	39 837	350 186	
ПВК (харьковский)	Приток	0	0	19 505	39 837	0,11
	Отток	0	0	19 506	39 836	
Верхнемеловой ВК	Приток	0	0	8 198	19 506	0,40
	Отток	0	0	8 198	19 505	
Ратайчицкий ВГ	Приток	0	0	0	8 198	0,32
	Отток	0	0	0	8 198	

ДРЕНАЖ КАРЬЕРА НОВОДВОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Первые оценки прогнозных водопритоков в карьер Новодворского месторождения базальтов выполнены нами в нестационарной постановке с использованием численной геофильтрационной модели. Для этих целей создана рабочая версия региональной ЧГФМ под именем «Reg01baz». Все необходимые для расчетов характеристики и параметры карьера взяты из отчетов РУП «НППЦ по геологии» о предварительной разведке Новодворского месторождения, проведенной в 2018–2020 гг. (В.Б. Дорошенко, Г.Б. Качанко, О.Ф. Кузьменкова и др.).

Постановка задачи. Выполнить оценку водопритоков в проектируемый карьер. Дать прогноз уровня режима и баланса подземных и поверхностных вод на территории водосбора карьерных полей. Организация вычислительного процесса изложена в табл. 2.

Дренаж грунтового водоносного горизонта. Площадь карьера, планируемого для отработки запасов полезных ископаемых, разведанных по категориям С1 + С2, равна 1,45 км². На геофильтрационной модели «Reg01baz», имеющей шаг сетки 300 м, проектируемый карьер занимает 16 расчетных блоков (ячеек). В ячейках, примыкающих к внешнему контуру карьера (то есть на рас-

стоянии 300 м от расчетной границы карьера), в грунтовом водоносном горизонте (первом от поверхности земли) принимается граничное условие 1-го рода (ГУ-1) с напором $H = 125,0$ м (абсолютная отметка уровня грунтовых вод равна 125,0 м, что соответствует кровле слоя днепровской морены). При заданном напоре грунтовых вод моделируется процесс фильтрации в течение 90 сут с записью результатов моделирования на следующие моменты времени: 1,0 сут, 3,0 сут, 10,0 сут, 30,0 сут и 90,0 сут. На эти моменты время получены количественные значения составляющих водного баланса подземных и поверхностных вод, а также модельные величины напоров подземных вод и их понижений.

Дренаж березинского-днепровского водоносного горизонта. Через 90,0 сут система дренажа грунтового водоносного горизонта отключается (ГУ-1 на линии дренажа удалено). На следующем этапе строительства при $t = 90$ сут уровни подземных вод на линии дренажа снижаются до кровли залегания алевритов палеогена (абсолютная отметка 114,0 м). То есть уровни подземных вод на контуре дренажа понижаются еще на 11,0 м. Граничное условие 1-го рода на контуре карьера в грунтовом водоносном горизонте отключается и переносится в БДВГ. Принятые условия предполагают, что слой днепровской морены, представленный песками, способен пропустить все ресурсы грунтовых вод через себя.

Дренаж березинского-днепровского и палеогенового водоносных горизонтов. На третьем этапе

Таблица 2 – Временные параметры, принятые при моделировании дренирования грунтового (ГВГ), березинского-днепровского, палеогенового и верхнемелового водоносных горизонтов (нестационарный режим фильтрации)

№ ВИ	Граничное условие 1-го рода (ГУ-1) на линии дренажа	Расчетное время, сут	Длительность ВИ, сут	Число шагов	Величины шагов, сут
1*	-	0,3	0,30	20,0	0,015
2	ГУ-1 в ГВГ; $H = 125$ м	1,0	0,70	35,0	0,020
3		3,0	2,00	40,0	0,050
4		10,0	7,00	35,0	0,200
5		30,0	20,00	50,0	0,400
6		90,0	60,00	75,0	0,800
7*	ГУ-1 в ГВГ отключается ГУ-1 в БДВГ; $H = 114$ м	93,0	3,00	100,0	0,030
8		100,0	7,00	70,0	0,100
9		130,0	30,00	100,0	0,300
10		220,0	90,00	180,0	0,500
11*	ГУ-1 в ПВГ; $H = 96$ м	223,0	3,00	200,0	0,015
12		230,0	7,00	200,0	0,035
13		260,0	30,00	200,0	0,150
14		350,0	90,00	200,0	0,450
15*	ГУ-1 в ВМВГ; $H = 83$ м	353,0	3,00	200,0	0,015
16		360,0	7,00	200,0	0,035
17		390,0	30,00	200,0	0,150
18		480,0	90,00	200,0	0,450
19		660,0	180,00	200,0	0,900

строительства карьера уровни подземных вод на линии дренажа понижаются до подошвы палеогенового водоносного горизонта – абсолютная отметка 96,0 м. Для этого на модели на линии дренажа в ПВГ задается ГУ-1 с $H = 96,0$ м. Дренажная система, оборудованная на березинский-днепровский водоносный горизонт, сохраняется.

Дренаж березинского-днепровского горизонта, харьковского и верхнемелового водоносных горизонтов. На четвертом этапе работ уровни подземных вод на контуре дренажа понижаются до кровли залегания базальтов – абсолютная отметка 83,0 м. На модели в основании верхнемелового водоносного горизонта задается ГУ-1 с $H = 83,0$ м. Дренажная система, оборудованная на березинский-днепровский и палеогеновый водоносные горизонты, сохраняется. Результаты моделирования записаны на $t = 353,0$ сут, 360,0 сут, 390,0 сут, 480,0 сут и 660,0 сут. В целом, ведя отсчет от начального момента времени ($t = 0$), когда система дренажа была введена в работу, водопонижение на линии дренажа моделировалось в течение 660 сут.

Дренажные работы на объекте начинаются с осушения грунтового водоносного горизонта. Для этого на линии дренажа (300 м от внешнего контура планируемого карьера) уровни грунтовых вод

понижаются до абсолютной отметки 125 м. В первые сутки работы дренажной системы водоприитоки могут достигать 135,1 тыс. $m^3/сут$. Но в течение месяца суммарный дебит дренажа снижается до 84,6 тыс. $m^3/сут$ (рис. 5).

Переход на дренирование березинского-днепровского водоносного горизонта и соответствующее понижение уровней подземных вод на линии дренажа до абсолютной отметки 114,0 м повышает водоприитоки до 262,6 тыс. $m^3/сут$. В течение 4 месяцев работы дренажной системы водоприитоки снижаются до 88,2 тыс. $m^3/сут$.

Последующее подключение к дренажу харьковского (палеогенового) и верхнемелового водоносных горизонтов мало сказывается на объеме водоприитока в планируемый карьер. В связи со сработкой упругих и гравитационных запасов подземных вод в зоне влияния дренажа суммарные водоприитоки в карьер постепенно снижаются до 77,0 тыс. $m^3/сут$ в конце расчетного периода времени (см. рис. 5).

Радиус воронки депрессии в грунтовом водоносном горизонте по изолинии понижения УГВ 0,3 м достигает 4,5–5,0 км в южном, западном и северном направлениях и 3,0 км в восточном направлении, в сторону водохранилища Погост (рис. 6).

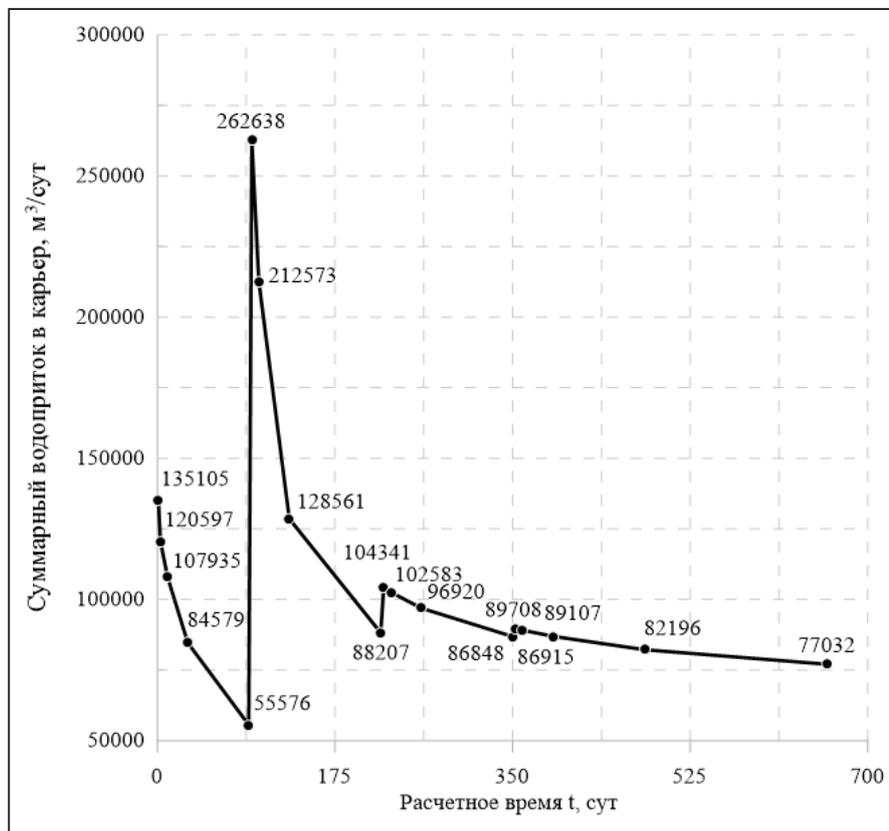
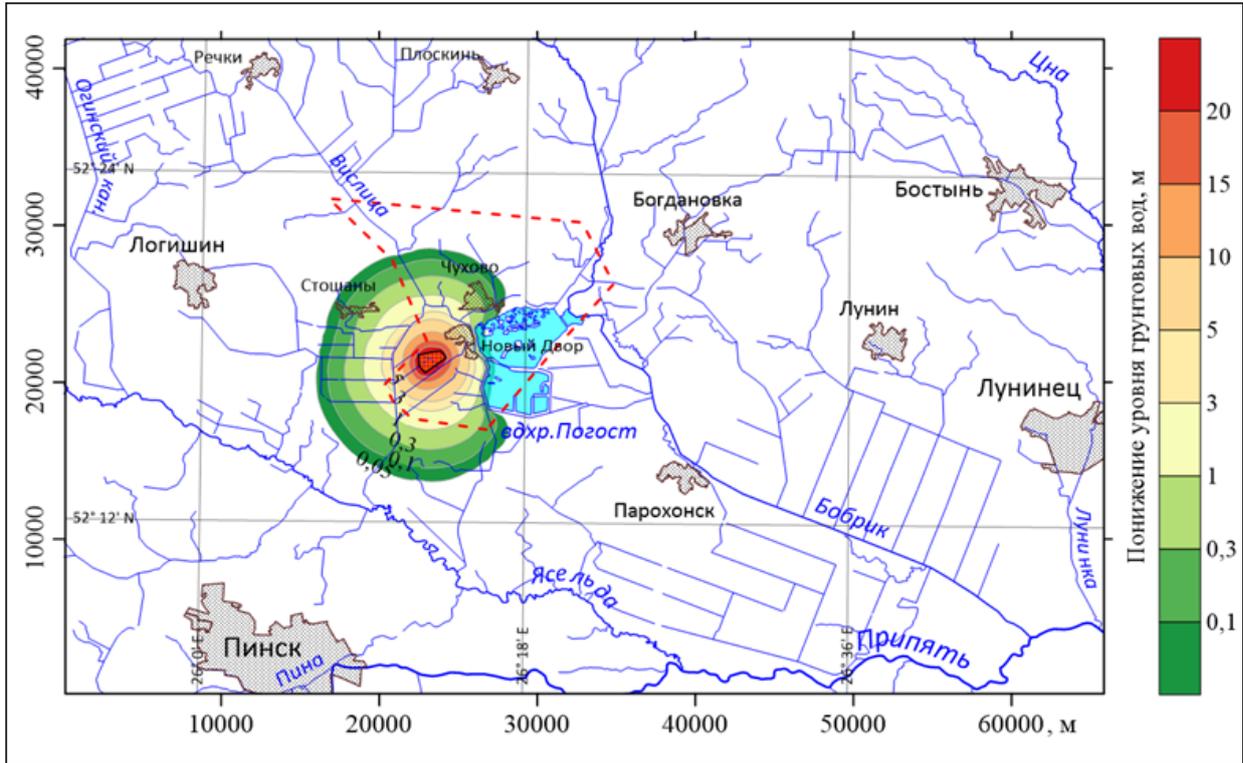


Рисунок 5 – Изменение во времени суммарного водоприитока в карьер «Новодворский» на стадии вскрышных работ до глубины залегания кровли слоя полезного ископаемого



Условные обозначения см. на рис. 1

Рисунок 6 – Цифровая карта понижения УГВ в условиях дренирования ГВГ, БДВГ, ПВГ и ВМВГ на $t = 660$ сут (по результатам моделирования)

Максимальные понижения уровней подземных вод в грунтовом и межпластовых водоносных горизонтах формируются вблизи внешнего контура карьера. С удалением от него понижения уровней снижаются. Наибольший практический и экологический интерес представляют понижения уровней

грунтовых вод в ближайших населенных пунктах. Так, в д. Новый Двор понижение УГВ достигает 4,7–9,1 м. В более удаленных населенных пунктах влияние карьера снижается (см. рис. 6, 7).

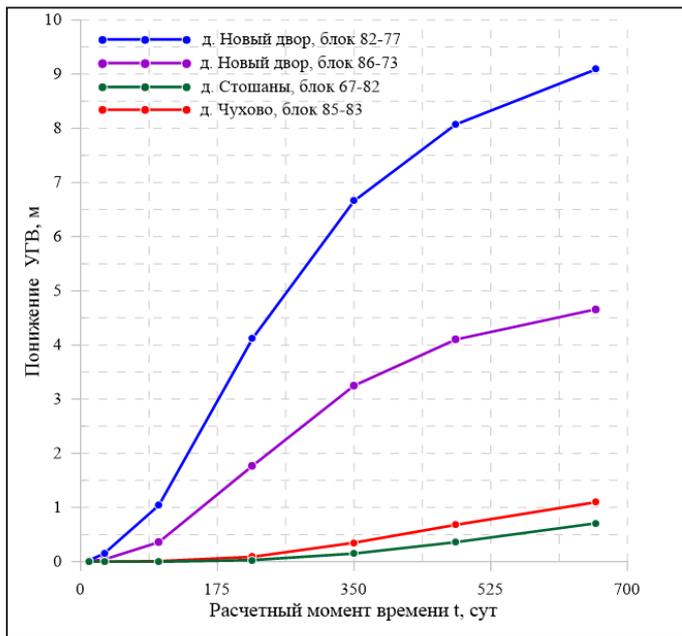


Рисунок 7 – Графики снижения уровней ГВГ в д. Новый Двор, Стошаны, Чухово

ДРЕНАЖ КАРЬЕРА НОВОДВОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

После завершения вскрышных работ и переходе к выемке полезного ископаемого изменения условий дренирования территории, прилегающей к карьере, прекращаются. Через некоторое время работы системы дренажа без изменения граничных условий на линии дренирования произойдет стабилизация уровняного режима подземных вод.

Анализ результатов моделирования системы дренажа в нестационарной постановке, выполненного с использованием численной геофильтрационной модели «Reg01baz», показывает, что уже через 660 сут режим фильтрации подземных вод близок к стационарному. Целесообразно получить количественные оценки предполагаемых изменений, а также выполнить контроль результатов расчетов в

КАРЬСЬНЯ ВЬКАПНІ

нестационарной постановке. Для этого на модели «Reg01baz» рассматриваемая задача решена в стационарной постановке. Существенных различий в результатах решения нестационарной (на $t = 660$ сут) и стационарной задач не выявлено.

Чтобы исключить фактор масштаба рассмотрения исследуемых процессов, нами выполнены соответствующие расчеты на локальной численной геофильтрационной модели Новодворского месторождения базальтов (модель «Lok01baz»). Цель создания локальной модели – численное моделирование фильтрации подземных вод при дренировании карьера Новодворского месторождения базальтов на стадии вскрытия толщи полезного ископаемого.

На модели «Lok01baz» воспроизводится территория, ограниченная узловыми точками 51–120 по оси X и 48–94 по оси Y на региональной геофильтрационной модели «Reg01baz». Детальность локальной модели «Lok01baz», по сравнению с региональной моделью «Reg01baz», достигнута за счет сокращения шага сеточной области с 300 до 100 м и уменьшения размеров моделируемой области в плане.

Локальная и региональная модели согласованы между собой по дискретизации пространства таким образом, чтобы центры всех блоков модели «Reg01baz» совпадали в сходственных точках с центрами расчетных блоков модели «Lok01baz». Размеры территории, воспроизведенной на модели «Lok01baz», составляют 20,8 км с запада на восток (по оси X) и 13,9 км с юга на север (по оси Y). При шаге сеточной области 100 м получаем размерность модели «Lok01baz» в плане: 208 расчетных блоков по оси X и 139 – по оси Y.

Гидрогеологические параметры, граничные условия на линии дренажа, параметры проектируемого карьера, принятые для расчетов с использованием региональной модели, сохраняются и при решении задачи по оценке прогнозных водопритоков в карьер Новодворского месторождения базальтов на базе локальной геофильтрационной модели «Lok01baz».

Постановка задачи – дренаж карьера при вскрытии кровли залегания базальтов. Такая постановка соответствует четвертому этапу работ при решении задачи в нестационарной постановке – дренаж верхнемелового водоносного горизонта, понижение уровней подземных вод на контуре дренажа до кровли залегания базальтов (абсолютная отметка 83,0 м); дренажная система, оборудованная на березинский-днепровский водоносный горизонт и харьковский водоносный комплекс, сохраняется.

При заданной схеме дренажа воздействие на гидрогеологические условия прилегающих территорий будет максимальным (рис. 8, 9), так как дренируется вся водонасыщенная толща пород с максимальными понижениями напоров на контуре дренажа. Приток воды в карьер достигает $69\,322\text{ м}^3/\text{сут}$ (на региональной модели – $77\,032\text{ м}^3/\text{сут}$). Как видно, различия не превышают 10%.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ ПИНСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ

Направления дальнейших работ в зоне влияния Новодворского месторождения базальтов и Пинской перспективной площади в целом в определяющей степени зависят от технологии ввода в разработку и последующей эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Поэтому необходимо создание архитектурного проекта или технологической схемы освоения Новодворского месторождения базальтов. Наличие подобного документа позволит оптимизировать схему дренажа и подобрать оптимальные параметры оборудования дренажной системы с учетом высоты уступов карьера и требуемых сроков строительного водопонижения.

В связи со значительным снижением уровней грунтовых вод в зоне влияния карьера необходимо оценить экономическую и социальную значимость возможных вариантов водоснабжения населенных пунктов, расположенных вблизи планируемого карьера, и использования дренажных водных ресурсов для орошения сельхозугодий. В радиусе до 5,0 км вокруг планируемого карьера произойдет значительное снижение уровней грунтовых вод, что может оказать негативное влияние на урожайность сельскохозяйственной продукции. Некоторая часть дренажных скважин может выполнять две функции: 1) быть частью дренажной системы; 2) быть поставщиком больших объемов воды для орошения сельхозугодий.

Целесообразна организация режимных наблюдений за уровнями грунтовых вод и поверхностных вод в водохранилище Погост. Решение этой задачи позволит уточнить характер гидравлической связи поверхностных и грунтовых вод, а также оценить потери воды из водохранилища.

Созданные геофильтрационные модели могут при соответствующей актуализации и доработки использоваться для моделирования гидрогеологических условий освоения Новодворского месторождения базальтов и Пинской перспективной площади в целом по реальным технологическим схемам.

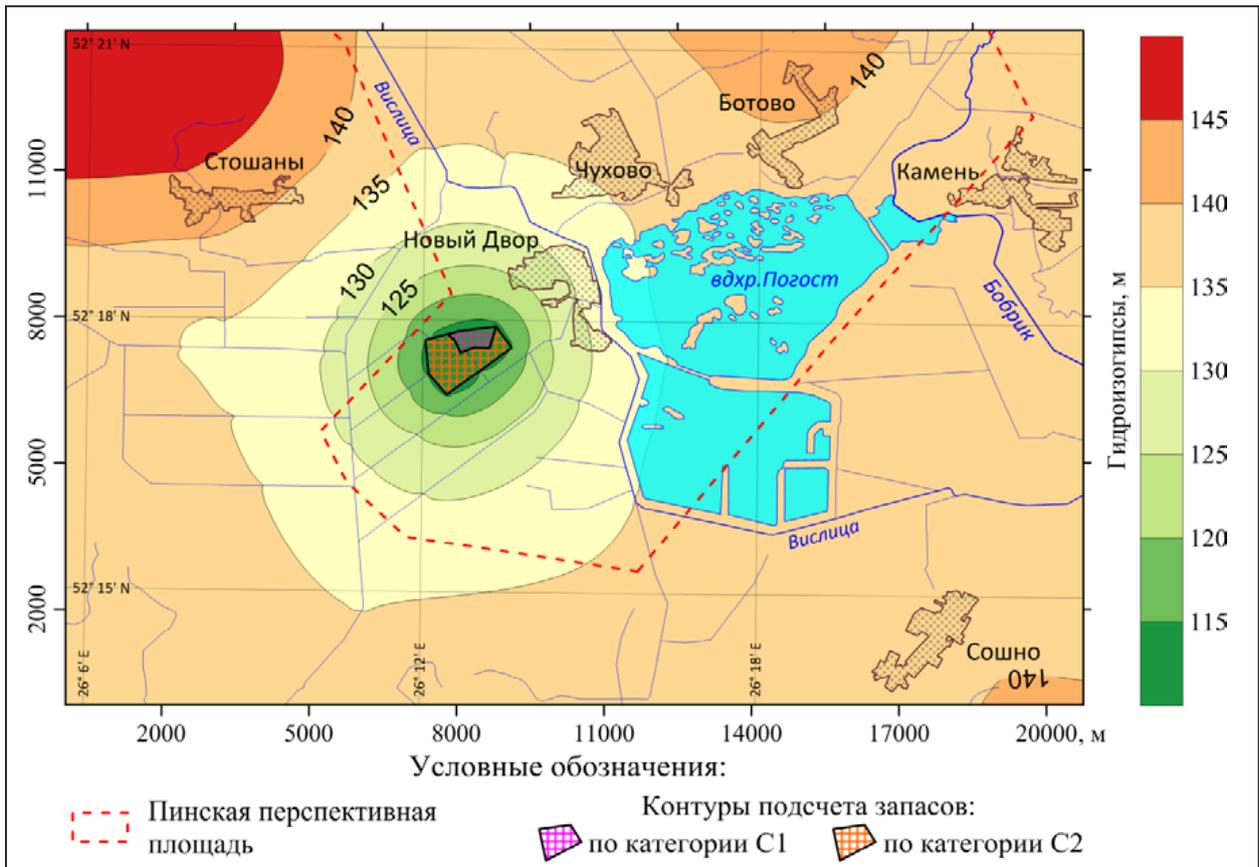


Рисунок 8 – Цифровая карта гидроизогипс в условиях дренирования БДВГ, ПВГ и ВМВГ (по результатам моделирования)

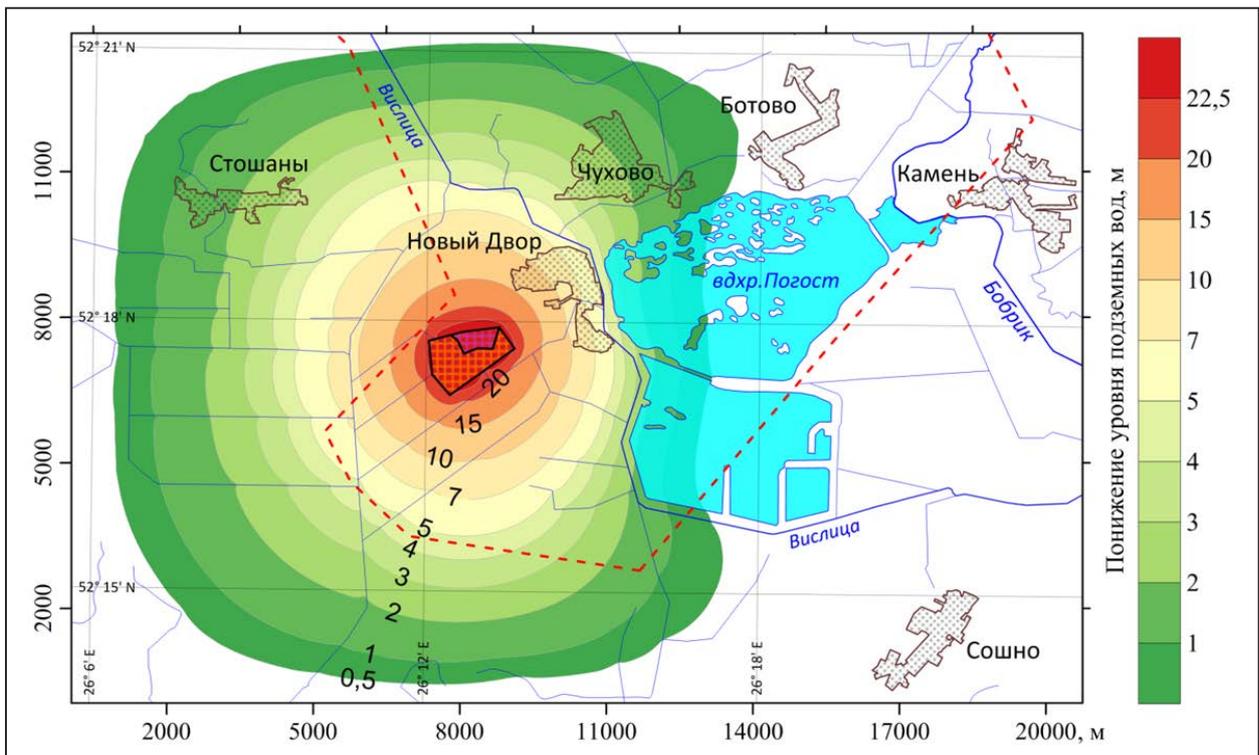


Рисунок 9 – Цифровая карта понижения уровней грунтовых вод в условиях дренирования БДВГ, ПВГ и ВМВГ (по результатам моделирования)

КАРЬСЬНЯ ВЬКАПНІ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Всеволожский, В. А.** Основы гидрогеологии : учебник для вузов / В. А. Всеволожский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во МГУ, 2007. – 448 с.
2. **Жогло, В. Г.** К оценке интенсивности площадного питания подземных вод / Жогло В. Г., Плетнев А. А. // Доклады АН Беларуси. – 1992. – Т. XXXVI, № 11–12. – С. 1005–1007.
3. **Жогло, В. Г.** Оценка фильтрационных свойств слабопроницаемых отложений для прогноза качества подземных вод вблизи источника загрязнения / Жогло В. Г., Плетнев А. А. // Доклады АН Беларуси. – 1996. – Т. 40, № 1. – С. 114–117.
4. **Постоянно** действующие модели гидrolитосферы территорий городских агломераций (на примере Московской агломерации) / Ю. О. Зеегофер [и др.]. – Москва : Наука, 1990. – 198 с.

Статья поступила в редакцию 29.09.2022

Рецензент В.М. Шиманович

ГІДРАГЕАЛАГІЧНЫЯ ўМОВЫ РАСПРАЦОўКІ НАВАДВОРСКАГА МЕСЦАНАРАДЖЭННЯ БАЗАЛЬТАў

В.Г. Жогла

Інстытут прыродакарыстання НАН Беларусі
вул. Ф. Скарыны, 10, 220076, Мінск, Беларусь
E-mail: w.zhoglo50@tut.by

Выканана схематызацыя гідрагеалагічных умоў у межах вадазбору кар’ерных палёў Пінскай перспектыўнай плошчы (ППП). Створаны рэгіянальная і лакальная лікавыя геафільтрацыйныя мадэлі PPP. Упершыню для колькаснай ацэнкі інтэнсіўнасці інфільтрацыйнага харчавання грунтовых вод (ГВ) выкарыстана лічбавая карта рэльефу і гідраграфічнай сеткі вадазбору кар’ерных палёў PPP. У межах мадэліруемай вобласці ацэнены натуральныя рэсурсы падземных вод, велічыня якіх раздзелена на падземны сцёк у рэкі і разгрузку ГВ выпарэннем. Выканана лікавае мадэліраванне фільтрацыі падземных вод пры розных схемах асушвання кар’ерных палёў пры стацыянарным і нестацыянарным рэжымах фільтрацыі. Дадзены рэкамендацыі па правядзенні далейшых работ у межах PPP.

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF DEVELOPMENT NOVODVORSKOYE BASALT DEPOSIT

V. Zhoglo

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus
10 F. Skorina St, 220076, Minsk, Belarus
E-mail: w.zhoglo50@tut.by

The schematization of hydrogeological conditions within the catchment area of the quarry fields of the Pinsk Prospective Area (PPP) has been completed. Regional and local numerical geofiltration models of PPP have been created. For the first time, a digital map of the relief and hydrographic network of the catchment area of the quarry fields of the Pinsk prospective area was used to quantify the intensity of the infiltration recharge of groundwater (GW). Within the simulated area, the natural resources of groundwater were estimated, the value of which was divided into groundwater runoff into rivers and discharge of GW by evaporation. Numerical modelling of groundwater filtration was performed for various schemes of drainage of open pit fields under conditions of stationary and non-stationary filtration modes. Recommendations are given for carrying out further work on the territory of the Pinsk prospective area.