

## ГИДРОСФЕРА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

К. Е. Питьева, А. Я. Смирнова, А. А. Смирнова

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия  
Воронежский государственный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 20 июля 2015 г.*

**Аннотация:** В статье анализируется влияние геоморфологического, геологического, гидрогеологического фактора на формирование пресных и минерализованных вод слабо изученной в гидрогеохимическом отношении территории северо-восточного блока Воронежской области. Проведена графическая гидрогеохимическая классификация вод. Рассмотрено формирование минеральных и промышленных подземных вод. Показаны возможные экологические последствия разработки никелевых руд.

**Ключевые слова:** осадочный чехол, кристаллический фундамент, гидрогеологический этаж, литофациальный состав, макрокомпоненты, гидродинамика, минерализация, гидрогеохимия, минеральные воды.

**Abstract:** The article analyses the impact of geomorphological, geological and hydrogeological factors on the formation of fresh and mineralized waters within the north-east territory of the Voronezh region, which is hydrogeochemically underexplored. Graphical hydrogeochemical classification of waters is also given in the article. The formation of mineral and industrial underground waters is considered. Potential ecological consequences of nickel ore mining are shown in the article.

**Key words:** sedimentary mantle, crystalline basement, hydrogeological level, lithofacies structure, macro components, flow fluid dynamics, mineralisation, hydrogeochemistry, mineral waters.

В течение ряда лет нами проводились научные исследования на крайнем северо-востоке Воронежской области, на площадях Борисоглебского городского округа и прилегающих муниципальных районов, граничащих с Тамбовской, Саратовской, Волгоградской областями. В первую очередь изучалось геологическое строение, гидрогеологические и экологические условия, защищенность эксплуатационных водоносных горизонтов от поверхностного загрязнения (1986), водообеспечение населения пресными питьевыми водами (2006-2013), формирование минеральных подземных вод (1995). Актуальность рассматриваемых проблем обусловлено необходимостью объективной оценки водно-ресурсного и экологического потенциала территории в связи с перспективами разработки открытых в Елань-Эртильской зоне месторождений никелевых руд шахтным способом. Оценка осуществлялась посредством сравнительного ана-

лиза природных условий месторождений и прогнозируемых техногенных изменений, которые следует ожидать по мере извлечения никелевого сырья.

При составлении статьи использовались личные наблюдения авторов (Смирнова А. Я., Умнякова Л. В., Гольдберг В. М., 1986), материалы отчетов по геологической съемке территории (Глушков Б. В., 1995, Пархоменко В. Н., 1999, Рыборак В. М., 1998). Привлечены специальные гидрогеологические исследования по гидродинамике и гидрогеохимии (Позднякова Н. И., 2008), работы ОАО «Геоцентр» (2007-2008), учитывались работы по Воронежской области (Сыса Л. В., 1977). В конце 90-х годов проводились групповые гидрогеологические, инженерно-геологические съемки (Рыборак В. М., 1999) по северо-восточной территории Воронежской области. Как следует из учтенных данных, в горных породах циркулируют пресные и минерализованные воды. На глубинах от 200-500 до 1500-2000 и более м в породах сосредоточены минеральные (лечебные) и промышлен-

ленные воды с минерализацией более 2-125,7 г/дм<sup>3</sup>. Условия их формирования описаны в работах А. Я. Смирновой, В. Л. Бочарова в 1995, 1996 и 2011 годах.

В схеме гидрогеологического районирования России северо-восточная территория Воронежской области расположена в северо-западной оконечности Приволжско-Хоперского артезианского бассейна, подземным водам которого присущи те же закономерности образования, что и водам других артезианских бассейнов. Гидродинамические и гидрогеохимические особенности вод тесно взаимодействуют с геоструктурными условиями, стратиграфической приуроченностью и литофациальным составом водовмещающих пород. Важную роль играет ландшафтно-морфологическая выраженность и климатические особенности территории, обеспечивая непрерывно протекающий природный водообмен между атмосферой и литосферой. В данном случае этому способствует пространственное расположение исследуемой территории на южной половине Окско-Донской низменности и достаточно сильная обводненность реками – Хопер с притоками Ворона, Карачан, Савала с Еланью и Токаем, Битюг с Эртилем, Курлаком и Чиглой.

На территории располагаются две климатические зоны – лесостепная и степная.

Климат умеренно-континентальный со среднегодовой температурой воздуха +5,5 – 6,0°C. Самый жаркий месяц – июль со среднегодовой температурой воздуха +20 – 21°C. Зимние средне январские температуры колеблются от -9,5 до -10°C. Годовая сумма атмосферных осадков соответствует 457-500 мм [10].

В геоморфологическом отношении на правом берегу Хопра выделяется южная окраина Окско-Донской низменности. В ее пределах доминируют плоские и пологоволнистые междуречья с небольшими понижениями в рельефе, занятые озерами и прудами. Глубокие речные долины с обширными поймами и широкими песчаными террасами, ложбинообразные балки и оползневые цирки.

Формирование рельефа исследуемой территории подчиняется сочленению 3-х важных групп факторов распределения в пространстве: вертикальные неотектонические движения, литологический состав пород, климатические условия в неоген-четвертичное время. При анализе действия этих факторов на рассматриваемых площадях ранне-миоценовые поверхности выравнивания с абсолютными высотами на водоразделах Хопер-Ворона 160-170 м. По левобережью Хопра и левобе-

режью реки Вороны выделяются верхне-плейстоценовые аллювиальные первая, вторая, третья и четвертая надпойменные террасы с абсолютными высотами выравнивания 140-160 м.

В долинах рек Савала и Елань отмечены в рельефе верхнеплиоценовые преимущественно аккумулятивные первая и вторая надпойменные террасы с абсолютными высотами 120-140 м, перекрытые мощной толщей четвертичных отложений. Преобладающими в рельефе являются плиоценовые аллювиальные пространства с абсолютными высотами 120-140 м, на которые накладывается ранне-неоплейстоценовые ледниковые отложения.

Значительную роль в формировании современного рельефа играют эрозионные процессы. Развиваются балки, овраги, западины и оползни. Преобладают балки. Длина балок – 5-15 м, а иногда 10-20 км. Овраги принадлежат к молодым эрозионным формам рельефа и часто встречаются на правом берегу Хопра и Савалы, на склоне долины реки Карачан. Левобережье рек Хопра, Вороны, Савалы заняты надпойменно-террасовым комплексом. В литологическом отношении I и II террасы представлены преимущественно песками и супесями. Высота первой террасы достигает 7-8 м, а второй 15-18 м. Поверхности третьей и четвертой надпойменных террас превышают урез воды в реках соответственно на 30-35 и 50-55 м. Повсеместно они сложены лессовидными суглинками и слабо выражены в рельефе [9].

В целом геоморфологический облик территории обусловлен особенностями литологического состава рельефообразующих пород и тектоническим строением. Мощные толщи песков и глин нижнемелового возраста, а также аллювиально-флювиогляциальные и ледниковые породы четвертичной системы способствовали образованию платообразных поверхностей водоразделов. В западной части правобережья Хопра располагается Верхнекарачанское небольшое неотектоническое поднятие, что находит отражение в рельефе с большими абсолютными высотами – 160-180 м [9]. В восточной части наблюдается пониженная слаборасчлененная равнина с плакорным типом местности и широкими аллювиальными террасами с абсолютными высотами около 85 м.

Почвы района весьма разнообразны. Преобладают типичные и выщелоченные черноземы, а также серые лесные почвы. По периферии плакорных местностей распространены лесные массивы. Самый крупный из них – Телермановский лес на высокоом правом берегу рек Вороны и Хопра, по ре-

ке Савала выделяется Савальский лесной массив. В некоторых местах Прихоперьа встречаются блюдцеобразные понижения с глубиной не более 3 м. Диаметры этой формы рельефа изменяются от десятков до сотен метров. Близкое залегание грунтовых вод, большой объем поверхностного стока поддерживают произрастанию здесь влаголюбивой древесно-кустарниковой растительности.

Поймы рек имеют ширину от 0,3 до 4 км, и высоту до 3 м. В результате блуждания рек поверхность пойм оказалась разделенной на множество молодых и древних сегментов, некоторые из которых разрушены боковой эрозией. Почвенный покров пойм характеризуется лугово-зернистыми, лугово-черноземными, торфяно-глеевыми, пойменно-лесными и темно-серыми почвами. Заметна солончатость почв. На поймах часто встречаются озера-старичьи и протоки.

Коренные берега речных долин Хопра, Вороны довольно высоки – 35-50 м.

При формировании рельефа значительную роль, помимо эрозионных, играют суффозионные и оползневые процессы.

### **Современное состояние гидрогеологических условий**

1. *Геологическое обоснование гидрогеологической обстановки.* Рассматриваемая территория расположена на сочленинии юго-восточной периклиналы Воронежского кристаллического массива и северо-западного склона Приволжско-Хоперского артезианского бассейна.

В стратиграфическом отношении в геологическом разрезе четко выделяются два структурно-вещественных этажа: нижний этаж – кристаллический фундамент, представленный сильно дислоцированными и метаморфизованными породами архея и протерозоя; верхний этаж – осадочный чехол, сложенный спокойно залегающими пластами осадочных отложений среднего и верхнего девона, меловой системы, многих горизонтов палеогена, неогена и четвертичной системы.

Минимальная мощность пород осадочного чехла в северо-западной и западной части территории – 150-200 м, а максимальная в юго-восточной и восточной части территории – около 700-900 м и более метров.

Осадочный чехол представлен песчано-глинистыми отложениями четвертичной системы, неогена, палеогена и мела, ниже по разрезу сменяющимися карбонатно-терригенными породами верхнего и среднего девона.

Кристаллический фундамент здесь имеет весьма сложное строение, так как площадь исследованной приурочена к присводовой части Воронежской антеклизы. к центральной части Новохоперско-Архангельского мезоблока, являющегося составной частью более крупных структур, слагающих Воронежский кристаллический массив. Новохоперско-Архангельский мезоблок осложнен Елань-Эртильской тектоно-магматической зоной, сопряженной на юге с зонами субмеридионального Мигулинского-Новохоперского разлома, субширотного Суджано-Икорецкого глубинного разлома и серией разломов более низкого ранга.

Анализ схемы тектоники и современного рельефа докембрия указывает, что на территории северо-востока Воронежской области породы фундамента характеризуются довольно крутым погружением к востоку в интервале от 200 до 700-800 м [4].

Перекрывающие фундамент пласты осадочных пород имеют довольно пологое, соответствующее артезианскому моноклиналильному склону, погружение на восток и юго-восток к Пачелмскому прогибу.

2. *Гидрогеологическая стратификация.* Гидрогеологическая стратификация была осуществлена в прошлом веке Г.Н. Каменским для Сурско-Хоперского артезианского бассейна, в западную и юго-западную часть которого входит и рассматриваемая территория. Им выделены крупные водоносные комплексы – протерозойский, средне-верхне-девонский меловой, палеогеновый, неогеновый, четвертичный.

Позднее в гидрогеологической стратификации, изложенной им в Гидрогеологии СССР, подземные воды систематизированы по стратиграфо-литологическому признаку на водоносные горизонты и водоносные комплексы с довольно подробным их рассмотрением с литологических и менее подробным с гидрогеодинамических и гидрогеохимических позиций. Единицы гидрогеологической стратификации тем не менее даны в крупном плане (воды четвертичных отложений в форме «Современный аллювиальный водоносный горизонт»: воды неогеновых отложений как «Неогеновый водоносный комплекс»).

Гидрогеологическое расчленение разреза характеризуемой территории проведено нами, в основном, в соответствии со сводной легендой Московской и Брянско-Воронежской серии листов Государственной гидрогеологической карты СССР масштаба 1 : 200000, утвержденной Гидрогеологической секцией НРС МИНГЕО СССР при ВСЕГИНГЕО

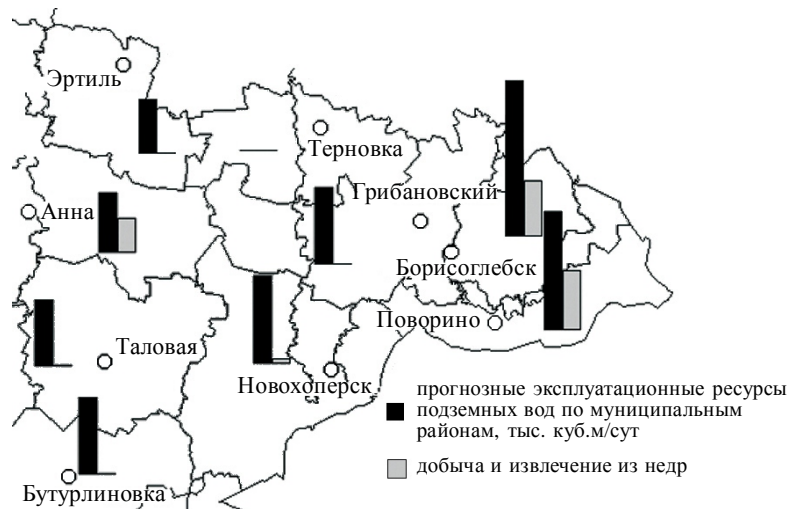


Рис. 1. Прогнозные эксплуатационные ресурсы, добыча и извлечение из недр [8]

10 апреля 1989 года [2]. Здесь выделено более 25 водоносных горизонтов и комплексов [3].

Подземные воды являются ценнейшим видом геологических ресурсов с неограниченной областью использования: хозяйственно-питьевое водоснабжение населения, производственно-техническое водоснабжение предприятий, лечебные (минеральные воды), сырье для добычи химических элементов.

Качество пресных вод определяется химическим и органолептическим составом, а также физическими свойствами. Именно качество подземных вод определяет возможность их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения на северо-востоке Воронежской области.

Большое практическое значение имеют неоген-четвертичный, палеогеновый, верхне- и нижне-меловой, девонский водоносные комплексы и обводненная трещиноватая зона архейско-протерозойских кристаллических пород.

Неоген-четвертичный водоносный комплекс широко распространен на территории в речных долинах с системой террас, на водоразделах и их склонах. Он состоит из нескольких водоносных горизонтов.

С выделением водоносных горизонтов в верхней части разреза, в зоне интенсивного водообмена, связываются перспективы использования водных ресурсов для водоснабжения населения и промышленной территории Воронежской области, включая Борисоглебский городской округ и 8 муниципальных районов: северо-восточная часть Аннинского, часть Бобровского, Грибановский, Новохоперский, Поворинский, Таловский, Терновский, Эртильский. В 2012-2013 годах нами про-

дидись картографические работы для составления атлас-книги Воронежской области по обеспеченности ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения [8]. Анализ имеющихся опубликованных и фондовых материалов позволил рассмотреть прогнозные эксплуатационные ресурсы и эксплуатационные запасы по Воронежской области, в том числе и на исследуемой территории. В основном здесь эксплуатируется неоген-четвертичный водоносный комплекс. Составлена карта распределения прогнозных ресурсов и запасов на территории вышеуказанных административных районов (рис. 1).

Как следует из учтенных данных, оценка эксплуатационных ресурсов проводилась различными организациями по основным водоносным горизонтам и комплексам в качестве источника крупного централизованного или мелкого рассредоточенного водоснабжения. Под эксплуатационными запасами понимается запасы подземных вод, оцененные на месторождениях и их участках, прошедших государственную экспертизу, т.е. они представляют собой разведанную и изученную часть прогнозных ресурсов подземных вод.

На карте показаны обобщенные данные, представленные в производственных отчетах по прогнозированию эксплуатационным ресурсам подземных вод месторождений. Густо населенная территория (Борисоглебский городской округ) развитая в экономическом отношении отличается большим извлечением питьевых подземных вод. Относительно большими эксплуатационными ресурсами отличаются Борисоглебский городской округ – около 100 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, в Новохоперском районе – 75 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, а в Поворинском – 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут-

ки. Эксплуатационные запасы закономерно больше в Борисоглебске, затем в Поворино и Новохоперске.

Таким образом, северо-восток области с большим числом населения, развитым сельским хозяйством отличается и большой интенсивностью водоотбора подземных пресных вод. Нередко наблюдается переэксплуатация вод водозаборов. В связи с этим возникла необходимость в постановке специальных гидрогеологических исследований по переоценке эксплуатационных запасов подземных вод по централизованным водозаборам. В этих условиях является целесообразным усиление социальных и экологических аспектов исследований, изучение процессов взаимодействия поверхностных и подземных вод, а также вопросов совместного использования подземных и поверхностных вод для водоснабжения населения. Другая проблема – уточнение естественных ресурсов подземных вод, углубленное изучение качества питьевых подземных вод, соответствие их качества требованиям СанПиН 2145 59-96 «Вода питьевая».

Одним из ключевых вопросов при решении проблем формирования химического состава подземных вод является выяснение условий, механизмов и процессов взаимодействия природных факторов, которые вызывают изменения химического состава вод и минерализации.

Особого внимания требует оценка поведения биологически активных компонентов, влияющих на качество воды. К биологически активным компонентам относится значительное число металлов и неметаллов, так как, по-видимому, абсолютно нейтральных химических элементов по отношению к биотическим компонентам среды и человеку практически не существует в природе. В то же время, как следует из работ С.Р. Крайнова, В.М. Швеца (1980) и В.И. Воронова (1995) выделяется группа элементов, для которых на основе медико-биологических исследований и доли микроэлементов, поступающих с водой в организм человека, установлены рекомендуемые концентрации. К числу таких относятся кальций, магний, калий, железо, барий, медь, никель и другие. Для этих элементов В.И. Вороновым предлагается установить оптимальные концентрации, которые количественно варьируют в определенном диапазоне и повышают качество воды.

Гидродинамические и гидрохимические закономерности пространственного размещения различных типов подземных вод в естественных условиях обычно тесно связаны с гидродинамикой потоков, формирующихся во многом в зависимо-

сти от геоморфологии рельефа (водоразделы, склоны водоразделов, речные долины с системой террас), а также определяются зональной схемой замещения в пресных водах одних химических типов вод другими.

В современном аллювиальном водоносном горизонте (aIV), распространенном в пределах речных долин, выявлен широкий спектр химических типов, входящих в группу пресных вод. В водах пойменных отложений, исследуемой территории, наиболее часто встречаются гидрокарбонатные кальциевые, гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые и хлоридно-гидрокарбонатные или гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые типы.

*Верхнечетвертичный аллювиальный горизонт (aIII).* В водах этого горизонта в пределах первой и второй надпойменных террас многочисленных рек преобладают гидрокарбонатно-хлоридный кальциево-магниевый или кальциево-магниевонатриевый, гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый или кальциево-магниевый и смешанный типы. Минерализация колеблется от 0,3 до 1,0 г/дм<sup>3</sup>.

*Среднечетвертичный аллювиальный горизонт (aII).* Воды данного водоносного горизонта, распространенные в песках третьей и четвертой террас на реках Савала, Ворона, преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевые, реже гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые. Минерализация вод составляет 0,2-0,6 г/дм<sup>3</sup>.

*Нижнечетвертичный флювиогляциальный и ледниковый водоносный горизонты (fqlds).* Он представлен рыхлыми отложениями (пески, супеси, суглинки), распространенными на водоразделах и в погребенных речных долинах Окско-Донской низменности. Воды характеризуются как гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные, реже гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-магниевые и кальциево-натриевые. Минерализация вод колеблется от 0,3 до 0,8 г/дм<sup>3</sup>.

*Среди неогеновых водоносных горизонтов выделяется плиоценовый (кривоборский) горизонт (N<sub>2</sub>kr).* В песках этого горизонта преобладает гидрокарбонатный кальциево-магниевый тип вод. реже отмечается натриево-кальциевый по катионному составу. Отдельными фрагментами, на участках контактирования данного горизонта с вышележащими, встречаются сульфатно-гидрокарбонатные воды. Повсеместно распространены пресные воды с минерализацией до 0,5 г/дм<sup>3</sup>. Возрастание минерализации до 0,8 г/дм<sup>3</sup> отмечается вблизи источников загрязнения: полей фильтрации, животноводческих хозяйств и других.

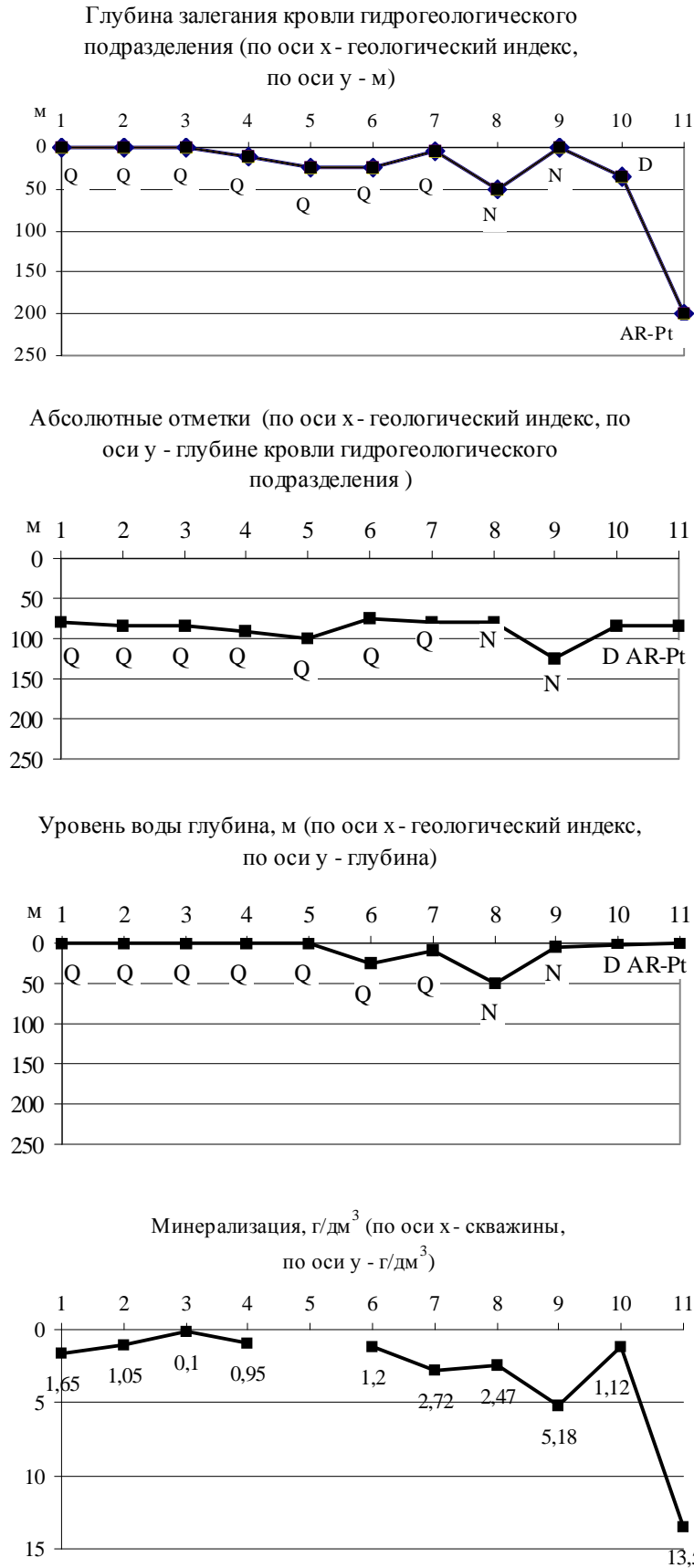


Рис 2. Распределение гидрогеологических параметров и минерализации подземных вод по вертикальному разрезу площадей Елка, Елань-Колено

Альб-сеноманский водоносный горизонт ( $K_1al-s$ ), в песках на площадях своего распространения характеризуется гидрокарбонатными и реже гидрокарбонатно-сульфатными кальциевыми типами вод. Минерализация воды варьирует от 0,3 до 0,4 г/дм<sup>3</sup>.

В валанжин-аптском водоносном горизонте ( $K_1v-a$ ), сложенным морскими аллювиальными отложениями, распространены гидрокарбонатные кальциевые или кальциево-магниевые воды с минерализацией от 0,6 до 0,9 г/дм<sup>3</sup>. Фрагментарно присутствуют гидрокарбонатные натриевые воды, в которых отмечается нитратное загрязнение очагового типа (2-3 ПДК), характерное для речных долин рек.

Верхнедевонский водоносный комплекс ( $D_3$ ). В его терригенно-карбонатных отложениях на площадях своего распространения содержатся хлоридно-гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые или магниевые-кальциевые типы вод с минерализацией 0,5-0,9 г/дм<sup>3</sup>. Минерализация воды увеличивается с погружением пород в восточном и юго-восточном направлениях до 1,2 г/дм<sup>3</sup> и более. С погружением пород в восточном направлении распространены соленые воды и рассолы с минерализацией 32,3-94,8 г/дм<sup>3</sup> и более [7].

В терригенно-карбонатных отложениях среднего девона, распространенного повсеместно, присутствуют высоко минерализованные хлоридные натриевые воды с минерализацией от 50 до 125,7 г/дм<sup>3</sup> и выше. Это преимущественно минеральные лечебные и промышленные воды. Аналогичные воды вскрыты бурением скважин (на глубинах более 600 м) и в протерозойско-архейских породах, сильно трещиноватых.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория представляет собой единую гидравлически связанную толщу обводненных пород, характеризующихся общностью пьезометрических уровней в пространстве и в разрезе и существенным сходством их химического состава (рис. 2).

Эта толща пород неоднородна по фильтрационным свойствам. Породы систематизируются в три группы: а) регионально выдержанные водоносные; б) регионально невыдержанные относительно водоупорные; в) умеренно водоносные.

Пласты пород первой и второй групп имеют в разрезе ограниченное распространение; третьей – большее распространение.

В разрезе выделяются две зоны: а) верхняя и б) нижняя.

Подземные воды верхней зоны практически (за небольшим исключением) безнапорные; пресные и слабоминерализованные; основные макроанионы характеризуются  $HCO_3 > SO_4$ , Cl и часто встречающимся повышенным  $NO_3$ ; основные макрокатионы – Ca > Na, Mg.

В верхнюю зону в качестве постоянных входят обводненные четвертичные, неогеновые, палеогеновые, меловые отложения; значительно реже – отложения девона и даже протерозойско-архейские.

Подземные воды нижней зоны напорные, минерализованные, хлоридные натриевые (с повышенным кальцием). Эти воды принадлежат к отложениям девона и архей-протерозоя.

3. *Природные гидрогеодинамические условия территории.* Согласно гидрогеологической стратификации с позиции гидрогеодинамических структур, рассматриваются верхняя гидрогеодинамическая и нижняя гидрогеодинамическая зоны.

Основные особенности верхней гидрогеодинамической зоны сводятся к следующему. Питание подземных вод верхней гидрогеодинамической зоны происходит атмосферными осадками, речными водами в паводки, подземными водами девонских и протерозой-архейских пород. Поступление вод в верхнюю зону посредством вертикальных перетоков подземных вод под влиянием напора из девона и архей-протерозоя значимое. На это указывают единые для водоносных пород всего разреза и близких к нему участков глубины пьезометрических уровней подземных вод и их значение в абсолютных отметках (рис. 2).

Глубины залегания подземных вод от единиц первых метров до 50-60 м, абсолютные отметки от 90 до 100-105 м. Площади питания подземных вод верхней гидрогеодинамической зоны распространены повсеместно на северо-востоке и преимущественно в пределах Воронежского кристаллического массива.

Анализ изменения абсолютных отметок уровня подземных вод показывает, что движение вод верхней гидрогеодинамической зоны направлено на восток и юго-восток. Воды дренируются речными долинами, озерными котловинами, выходами на земную поверхность болот и другими понижениями в рельефе.

Основные особенности нижней гидрогеодинамической зоны отличаются следующими чертами. Воды напорные. Пьезометрические уровни подземных вод разных слоев девона и протерозой-

Распределение гидрогеологических параметров подземных вод по вертикальному разрезу

Индекс водоносного горизонта	Литологический состав водовмещающих пород	Коэффициент фильтрации, м/сут/водопроницаемость, м <sup>2</sup> /сут
N	пески, глины	0,4/6,6
D2vb-ar	известняки, глины	0,05/2,73
D2kl-ms	известняки, песчаники	0,11/2,22
AR-Pt	гнейсы	0,09/3,94

архейских пород устанавливаются на абсолютных отметках от 95-100 метров и более. Глубины залегания вод превышают 50-60 метров. Глубины залегания кровли отложений девона превышают 100-150 метров.

Высоконапорный характер подземных вод нижней гидрогеодинамической зоны определяется слабыми фильтрационными свойствами перекрывающих пород верхней гидрогеодинамической зоны и резким погружением водоносных пород девона и протерозой-архея в пределы западного крыла Приволжско-Хоперского артезианского бассейна (таблица 1).

Атмосферное питание подземных вод рассматриваемой зоны осуществляется в пределах запада и северо-запада Воронежского кристаллического массива.

Движение подземных вод преимущественно восточное и юго-восточное. Значительная разгрузка подземных вод осуществляется вверх по зонам тектонической трещиноватости и по литологическим окнам в породах верхней гидрогеодинамической зоны.

Основные особенности нижней гидрогеодинамической зоны, сформированные в природных условиях – напорный характер и значительные их величины (рис. 3).

Гидродинамические факторы, к которым относятся фильтрационный поток – скорость фильтрации, длина пути фильтрации и вертикальные перетоки. Первый фактор – главный регионального распространения; три других – частные, проявляющиеся на фоне фильтрационного потока.

В направлении движения подземных вод за счет процессов массообменная в системе подземная вода – порода и других процессов увеличивается концентрация отдельных компонентов и минерализации.

Минерализация и анионный состав вод, как правило, тесно связаны. Так, увеличение минерализации вод по направлению движения обычно сопровождается сменой гидрокарбонатного типа

на сульфатный и хлоридный. В случае приуроченности вод зоны интенсивного водообмена к сульфатным породам при возрастании минерализации от 0,5 до 3,0 г/дм<sup>3</sup> и более происходит изменение их компонентного состава по схеме  $\text{HCO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_4\text{HCO}_3 \rightarrow \text{SO}_4$ . Для подземных вод различных геохимических типов характерны разные, но в то же время конкретные значения минерализации. Так, воды гидрокарбонатного типа в зоне интенсивного водообмена имеют минерализацию менее 1,0 г/ дм<sup>3</sup>, хлоридного – более 1,0 г/ дм<sup>3</sup>, сульфатного типа – 1,0-3,0 г/дм<sup>3</sup>. Скорость движения подземных вод на изменение химического состава влияет (по сравнению с изменениями в направлении их движения) локально, т.е. на фоне изменений, вызываемых гидродинамическими закономерностями, связанными со строением бассейнов подземного стока.

Вертикальные перетоки, приуроченные к зонам тектонических разломов, вызывают формирование в верхней части подземной гидросферы среди пресных и слабоминерализованных вод гидрогеохимических аномалий, характеризующихся водами непригодными для хозяйственно-питьевых нужд. Аномалии обусловлены смешением пресных и слабоминерализованных вод с солеными глубокими водами и магмотогенными компонентами [5]. Смешение с солеными глубокими водами свойственно платформенным условиям. Формирующиеся в пределах аномалий минерализованные (от нескольких единиц до десятков граммов на 1 дм<sup>3</sup>) воды хлоридного натриевого состава. Смешение с магмотогенными компонентами осуществляется по тектоническим нарушениям, достигающих магматических очагов. Магмотогенные компоненты представлены газами (углекислым, азотным и другими), соляной и иными кислотами, серой, многими микрокомпонентами (мышьяком, стронцием, бромом, литием и т.д.). Часто концентрация магмотогенных компонентов достигает значительных величин, что способствует образованию на фоне пресных вод аномалий с водами повышенной ми-



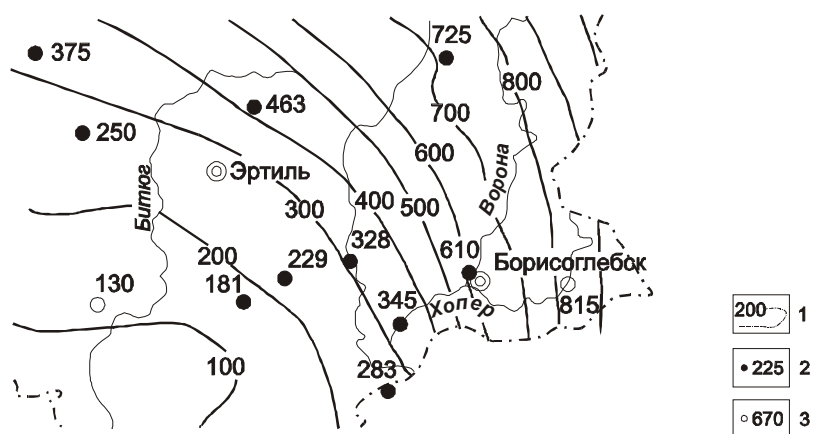


Рис. 3. Карта напоров над кровлей протерозой-архейского водоносного комплекса. Составил Б. Н. Смирнов [3] 1 – линии равных напоров протерозой-архейского водоносного комплекса; 2 – скважина и величина напоров (в м) над кровлей протерозой-архейского водоносного комплекса; 3 – то же, с предположительной величиной напора

нерализации. Повышению минерализации способствует поступление по зонам тектонических нарушений повышенных концентраций углекислоты, усиливающий процесс углекислотного выщелачивания пород. В таких условиях минерализация подземных вод может достигать  $10 \text{ г/дм}^3$  и более, а гидрохимический тип воды – гидрокарбонатно-хлоридный или хлоридно-гидрокарбонатный с различными катионами.

4. *Минеральные воды.* К минеральным (лечебным) водам относят природные воды, оказывающие на организм человека физиологическое действие, обусловленное минерализацией, либо повышенным содержанием полезных биологически активных компонентов, их ионного или газового состава, радиоактивных элементов, щелочности, кислотности или повышенной температурой.

В пределах рассматриваемой территории минеральные воды представлены: а) подземными водами, лечебное действие которых обусловлено наличием в их составе компонентов, обладающих сравнительно повышенной концентрацией при общей малой минерализации воды, в нескольких граммов в литре; б) подземными водами высокой минерализации; в) подземными водами с биологически активными компонентами.

Минеральные воды первой группы не имеют широкого распространения.

Мало минерализованные подземные воды залегают на глубинах 50-150 и более м. Особенно часто приурочены к верхнедевонским отложениям.

Особенностью компонентного состава этих вод является присутствие повышенных концентраций всех трех анионогенных ( $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ) и всех трех катионогенных ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$ ) компонентов [6].

При возрастании общей минерализации вод и глубин их залегания происходит изменение порядка распределения этих компонентов относительно друг друга. Изменения, как правило, заключаются в увеличении процентного содержания сульфатов и хлоридов относительно гидрокарбонатов.

Подземные воды первой группы минерализованные до  $10 \text{ г/дм}^3$ , чаще всего приурочены к среднедевонским отложениям, реже к докембрийским. Глубина залегания превышает 150 м и достигает 300 м и более. Воды эти напорные. Напоры достигают нескольких сотен метров. Пьезометрические уровни фиксируются на глубине от 50 м до нескольких метров; на отдельных участках отмечается самоизлив с высотой столба воды до 6,45 м над уровнем земли.

По ионному составу это преимущественно хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые и кальциево-натриевые воды. По заключению Института курортологии и физиотерапии, вода может применяться для внутреннего употребления при желудочно-кишечных заболеваниях и болезни печени.

Минеральные воды второй группы характеризуются минерализацией преимущественно в диапазоне от 10 до  $50 \text{ г/дм}^3$  и более. Увеличение минерализации вод этой группы происходит в связи с их погружением. Воды с минерализацией около  $10\text{-}20 \text{ г/дм}^3$  залегают на глубинах от 300 до 500 и более м. Они приурочены к среднедевонским и докембрийским отложениям.

В целом минерализация указанной группы увеличивается в направлении погружения водоносных комплексов и горизонтов к Пачелмскому прогибу. По компонентному составу эти мине-

Таблица 2

Химический состав минеральных вод на площади месторождения «Елка»

Содержание в дм <sup>3</sup>																						
катионы						анионы																
Ca	Mg	Na+K	Fe <sup>2+</sup>	NI <sup>+</sup>	Итого	НСO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Итого	M	Br <sup>-</sup>	Жесткость общая мд/дм <sup>3</sup>	pH	Ен	СО <sub>2</sub> своб	Формула химического состава					
мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг						89	6,65	51	21	Br52Ml7,9 Cl187nSO <sup>4</sup> 12 Na69Ca19nMg12
мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мг										
ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ	ЭКВ						ЭКВ	%-ЭКВ	%-ЭКВ	%-ЭКВ	%-ЭКВ
1088	420,4	4628	0,7	17,5	6154	73,2	9488,2	177,11	38	11370,5	17868,2	52,1	89	6,65	51	21	Br52Ml7,9 Cl187nSO <sup>4</sup> 12 Na69Ca19nMg12					
54,4	34,6	201	—	0,97	291	1,2	267,6	36,87	0,61	306,93		1,05										
18,7	12	69,0	—	0,3	100	1,0	87,0	12,0	0,21	100												

ральные воды хлоридные натриевые и хлоридные натриево-кальциевые.

Дебиты скважин колеблются от сотен долей литра в секунду до 24 л/сек (Борисоглебск). Удельные дебиты составляют 0,002-0,5 л/сек. Это воды могут быть использованы для лечения в купальных ваннах, но пока применения на данной территории не нашли.

Примером минеральных вод данной группы являются воды скважины в г. Новохоперске с суммой солей почти 65 г/дм<sup>3</sup>. Вода получена из среднедевонских отложений с глубиной залегания 303-330 м.

Минеральные подземные воды, содержащие биологически активные компоненты широко распространены в Борисоглебском, Новохоперском, Поворинском районах. Они представлены росолами с концентрацией солей от 48,3 до 125,7 г/дм<sup>3</sup>. Биологически активные компоненты характеризуются в этих водах бромом, бором и йодом.

На территории исследования отмечено кондиционное содержание брома (250-276,6 мг/дм<sup>3</sup>), бора (26,3 мг/дм<sup>3</sup>), йода (5-8 мг/дм<sup>3</sup>). Формирование брома в подземных водах связано с седиментационными морскими бассейнами, воды которых явились исходными для современной гидросферы в девоне и докембрии.

Эти бассейны были богаты органическими веществами, чему способствовали умеренно-теплый климат того времени. Бром в молекулах органических соединений наряду с азотом, серой, тяжелыми металлами присутствует как неорганический компонент.

Обогащенность органическими веществами седиментационных (исходных для современной гидросферы) вод и донных осадков подтверждаются данными по составу подземных вод, отобранных из скважин месторождения Елкинское 23 октября 2012 года (таблица 2).

При минерализации около 17,9 г/дм<sup>3</sup> вода по компонентному составу хлоридная натриево-кальциевая с повышенным содержанием сульфатов и магния (СlпSO<sup>4</sup>NaСапMg). Показателями высокого органического потенциала в исходных водах являются: 1) высокий процент органического компонента кальция; 2) повышенное содержание общего азота в аммонийной форме NH<sup>4</sup>, формирующегося при разложении органических веществ; 3) присутствие в повышенной концентрации Fe<sup>2+</sup> (восстановленная форма) и отсутствие Fe<sup>3+</sup> (окисленная форма); 4) наличие CO<sub>2</sub><sup>своб</sup> при незначитель-

ном содержании HCO<sub>3</sub>; 5) незначительная величина Eh (496-512 мВ).

Следует учитывать, что величина Eh, содержание CO<sub>2</sub><sup>своб</sup>, HCO<sub>3</sub> занижены вследствие того, что скважина фонтанирует и перечисленные компоненты окисляются.

В формировании Вг в подземных водах значительную роль сыграл фактор геологического времени, которому способствовали высокая растворимость соединений брома и свойство накапливаться в водах.

Биологически активные компоненты в мало-минерализованных водах представлены железом и фтором [7].

При систематизации данных анализа микрокомпонентов в подземных водах на северо-востоке области были выявлены повышенное содержание в них фтора, а также азотных соединений.

Фтор характеризуется концентрациями, достигающими 1 мг/дм<sup>3</sup> и более в водах четвертичных и неогеновых отложений [7].

Азотные соединения в форме NO<sub>3</sub> достигают содержаний в несколько десятков мг/дм<sup>3</sup> в водах девона (≈ 100 мг/дм<sup>3</sup>).

Еще большие содержания азотных соединений характерны для вод четвертичных, неогеновых и палеогеновых отложений. В водах неогеновых и палеогеновых отложений их средние содержания превышают 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Компоненты железа, фтора, азота могли бы быть полезными для лечебных целей при использовании минеральных (лечебных) вод комплексного характера.

*5. Возможные экологические последствия в районе Елкинско-Еланских месторождений никеля.*

Как показывает практика проведения гидрогеоэкологических работ по оценке воздействия добычи полезных ископаемых на окружающую среду основными негативными процессами часто являются следующие: 1) подпор и подтопление территории; 2) загрязнение подземных вод; 3) иссушение территории; 4) понижение уровня грунтовых вод, которое сопровождается длительную откачку воды из скважин. Например, при работе водозаборов развиваются воронки депрессии, которые захватывают существенные пространства. Развитие области депрессии приводит к смене растительности, оседанию земной поверхности, изменению ландшафтного облика, уменьшению плодородия почв, изменению взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Водозаборы, располага-

ющиеся вдоль реки, работают на привлекаемых запасах, т.е. вовлекаются ресурсы речной воды. При этом реке наносится ущерб в виде снижения уровня воды и уменьшения ее расхода и стока.

При предполагаемой разработке Елкинско-Еланкинских никелевых месторождений шахтным способом должны сформироваться техногенные гидродинамические условия негативно повлияющие на окружающую среду. Предполагается изменение условий питания транзита и разгрузки подземных вод. Следует ожидать формирования техногенных гидродинамических условий на Елкинско-Еланских месторождениях.

Анализ изменения абсолютных отметок уровня подземных вод показывает, что движение подземных вод верхней гидродинамической зоны направлено на восток, юго-восток, юг. Воды дренируются речными долинами, озерными котловинами, выходами на земную поверхность в виде болот и другим понижением в рельефе.

Основные особенности нижней гидродинамической зоны. Пьезометрические уровни подземных вод разных слоев девона и протерозой-архейских пород устанавливаются на абсолютных отметках от около 95-100 и несколько более метров. Глубины залегания вод превышают 50-60 метров. Глубины залегания кровли отложений девона превышают 100-150 метров.

Высоконапорный характер подземных вод нижней гидродинамической зоны определяется слабыми фильтрационными свойствами перекрывающих пород верхней гидродинамической зоны и резким погружением водоносных пород девона и протерозой-архея в пределы западного крыла артезианского бассейна.

Атмосферное питание подземных вод рассматриваемой зоны осуществляется в пределах запада и северо-запада кристаллического массива.

Также в формировании рассматриваемых подземных вод участвуют составляющие древних седиментационных бассейнов. Движение подземных вод преимущественно восточное и юго-восточное.

Подземные воды никелевых месторождений вследствие предполагаемой разработки должны изменить условия питания, транзита, разгрузки.

Следует ожидать обводнение всего ствола шахты, требующего откачки вод, формирования депрессионной воронки с центром на забое ствола шахты.

Сотрудниками кафедры гидрогеологии МГУ под руководством профессора К. Е. Питьевой произведен ориентировочный расчет радиуса депрессионной воронки.

Условия расчета: вскрытие месторождения, которое осуществляется в течение двух лет; разработка месторождений около 10 лет. Расчет производился для всех водоносных отложений разреза и соответствует условиям откачки воды до забоя шахтного ствола. Для расчета радиуса депрессионной воронки использовалась формула  $r = 3\sqrt{at}$ , где  $a$  – коэффициент пьезопроводимости, м<sup>2</sup>/сут;  $t$  – время вскрытия месторождений (2 года – 730 суток) и время разработки рудного тела (10 лет – 3650 суток).

Расчет коэффициента пьезопроводимости  $a = K \times M / m$ , где  $K$  – коэффициент фильтрации пород (средние данные), м/сут;  $M$  – мощность водоносных пород ствола шахты, м;  $m$  – коэффициент водоотдачи.

Ориентировочные расчеты радиуса депрессионной воронки для периода 2-х лет составляет 11 км, а для 10 лет – 26 км.

В пределах площади, соответствующей депрессионной воронке при вскрытии и разработке месторождения, следует ожидать возникновения ряда явлений и процессов, оказывающих негативное влияние на подземную и наземную гидросферу. Более существенно это влияние, по-видимому, проявится следующим образом.

1. В понижении уровня подземных вод всей толщи отложений в целом и, как следствие, в понижении уровня поверхностных вод водоемов и водотоков, потерявших связь с подземными водами, питавшими их в природных условиях, что может привести к практически полному уничтожению водоемов и существенному снижению водности рек, их обмелению, что приведет к гибели в них фауны и флоры.

2. Снижение уровня подземных вод приведет к увеличению мощности зоны аэрации, что вызовет: а) интенсивное окисление органических веществ почв и тем самым снижение их плодородия; б) увеличение содержания углекислого газа, способствующего углекислотному выщелачиванию пород атмосферными осадками и возрастанию минерализации подземных вод при смешении их с этими атмосферными осадками.

Большое значение среди техногенных явлений, возникающих при разработке месторождений, имеет подтопление на участках утилизации жидких отходов. Подтопление на площади добывающих районов будет иметь широкое распространение.

В период подтопления происходят основные изменения естественной гидрогеологической

структуры водоносного комплекса. Например, формируются новые области питания за счет техногенной инфильтрации; возникают радиальные (в пределах куполов подтопления) фильтрационные потоки; изменяются уровень и температурное состояние подземных вод; уменьшаются глубины залегания подземных вод; развиваются процессы смешения загрязненных атмосферных осадков и стоков с подземными водами, что существенно влияет на состав подземных вод, а через них на прочностные и фильтрационные свойства пород, на агрессивность вод к бетонным основаниям сооружений и т. д.

Одним из главных явлений, возникающих при разработке полезных ископаемых, является загрязнение.

Загрязнение подземных вод – это изменение их химического состава, вызванное поступлением посторонних для природных условий веществ, приводящих к ухудшению качества вод.

Компоненты-загрязнители будут представлены: компонентами добываемого сырья; компонентами перерабатывающих производств и систем очистки; компонентами коммунально-бытовых отходов, представленными азотными и серными соединениями, и рядом микрокомпонентов, среди которых часто встречаются Cd, Hg, Си, Pb, Zn, Сг, Ni, Fe; компонентами свалок промышленных твердых отходов; компонентами продуктов производств; компонентами отходов автотранспорта; компонентами вод водозаборов, используемых для производственных нужд и питьевого водоснабжения. Главные среди них макрокомпоненты, нитраты и в незначительных концентрациях многие микрокомпоненты, а также органические вещества.

Особенностью компонентов-загрязнителей, формирующихся при разработке никелевых месторождений, является их разнообразие по составу, по геохимическим свойствам, токсичности, взаимодействию минеральных соединений добываемой руды с подземными (также поверхностными) водами посредством окисления, восстановления, электрохимических сорбционных процессов. Это способствует их широкому распространению в атмосфере районов месторождений и за их пределами.

Геохимические свойства компонентов-загрязнителей обусловлены минеральным составом твердых отходов. В твердых промышленных отходах присутствует значительное число микрокомпонентов (медь, никель, свинец, цинк, молибден, кобальт, железо, марганец и другие), азотные соединения,

фосфаты, фенолы, цианиды. В пределах хранилищ твердые отходы претерпевают сложные преобразования, связанные в основном с формированием как окислительных, так и восстановительных условий. Первые преобладают в верхних частях хранилищ, вторые непосредственно у земной поверхности.

В окислительных условиях сложные вещества, как правило, быстро разлагаются до простейших компонентов – макрокомпонентов, нитратов, микрокомпонентов в ионной форме, газов (углекислого). В восстановительных условиях разложение веществ частичное.

В условиях водонасыщенной части водоносного комплекса главным процессом, обуславливающим характер и степень загрязнения подземных вод, является смешение грунтовых вод с загрязненными атмосферными осадками и стоками.

При разработке никелевых месторождений участки загрязнения подземных вод жидкими сточными водами будут приурочены к объектам добычи руды и к объектам комбината по обогащению руды, включая объекты транспортировки, хранения готовой продукции. Состав сточных вод объектов добычи и объектов переработки неодинаков, так как к настоящему времени не имеется материалов к их систематизации.

Предварительные выводы об использовании минеральных вод в лечебных целях.

1. О необходимости создания на территории никелевых месторождений и их соседнего окружения лечебно-оздоровительного центра, действующего на базе известных к настоящему времени проявлений минеральных вод и полученных путем дополнительных исследований. Некоторые обоснования этого вывода: а) минеральные воды – одно из ценных полезных ископаемых, оберегающих здоровье человека; б) Воронежская область – это территория, испытывающая большой дефицит относительно минеральных (лечебных) вод в целом.

2. Подземные воды, рассматриваемые в качестве минеральных вод, обладают разнообразными лечебными свойствами вследствие комплексного присутствия в них компонентов с полезным действием, что определяет их уникальность.

3. Минеральные воды никелевых месторождений характеризуются региональным распространением, что определяет их запасы.

4. Разработка минеральных вод экономична как с вышеперечисленных позиций, так и с геолого-гидрогеологических, которые обусловили малые и относительно незначительные глубины их залегания.

К настоящему времени территория никелевых месторождений недостаточно изучена для добычи никеля. Отсутствуют материалы о распределении техногенных объектов; о предполагаемых видах утилизации отходов; данные о составе стоков в районах добычи и на объектах комбината; сведения о составе атмосферных осадков; характеристика по составу возможных газовых выбросов, формирующихся при разработке и добычи сырья; оценка объемов сточных вод, образующихся при флотации сырья и других технологических процессов; не учитывается при рекомендациях разработки никелевых месторождений существенный дефицит пресных вод на рассматриваемой территории, требуемых для флотации.

Все вышеперечисленное создает к настоящему времени ситуацию невозможности достоверной оценки разработки никелевых месторождений с эколого-гидрогеологических позиций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахтырцева Н. И. Общие черты природы и физико-географическое районирование Воронежского Прихоперья / Н. И. Ахтырцева // Прихоперье. – Воронеж : Издательство Воронежского университета, 1979. – С. 32-43.
2. Гидрогеология СССР. – Москва : Недра, 1973. – Т. IV. – 432 с.
3. Государственная гидрогеологическая карта СССР. Масштаб 1: 200000, Московская и Брянско-Воронежская серия. Сводная легенда. – Москва, 1989.
4. Молотков С. П. Обзор главнейших этапов изучения докембрийских образований // Эколого-географический Атлас-книга Воронежской области / под ред. В. И. Федотова. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного университета, 2013. – С. 33-39.
5. Орлов М. С. Гидроэкология городов : учебное пособие / М. С. Орлов, К. Е. Питьева. – Москва : Инфра, 2013. – С. 68-71.
6. Питьева К. Е. Гидрогеохимия / К. Е. Питьева. – Москва : Издательство Московского государственного университета, 1988. – 316 с.
7. Смирнова А. Я. Минеральные воды Воронежской области (лечебные и лечебно-столовые) / А. Я. Смирнова, В. Л. Бочаров, В. Ф. Лукьянов. – Воронеж : Издательство Воронежского государственного университета, 1995. – 182 с.
8. Смирнова А. Я. Пресные подземные воды. Прогнозные эксплуатационные ресурсы и эксплуатационные запасы пресных подземных вод / А. Я. Смирнова, Н. И. Позднякова // Эколого-географический Атлас-кни-

га Воронежской области. – Воронеж : Издательство Воронежского государственного университета, 2013. – С. 104-116.

9. Трегуб А. И. Новейшая тектоника / А. И. Трегуб // Эколого-географический Атлас-книга Воронежской области. – Воронеж : Издательство Воронежского государственного университета, 2013. – С. 49-51.

10. Федотов В. И. Климат и климатический потенциал / В. И. Федотов, А. И. Сушков, Ю. А. Нестеров // Эколого-географический Атлас-книга Воронежской области. – Воронеж : Издательство Воронежского государственного университета, 2013. – С. 68-73.

#### REFERENCES

1. Akhtyrtseva N. I. Obshchie cherty prirody i fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Voronezhskogo Prikhoper'ya / N. I. Akhtyrtseva // Prikhoper'e. – Voronezh : Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta, 1979. – S. 32-43.
2. Gidrogeologiya SSSR. – Moskva : Nedra, 1973. – T. IV. – 432 s.
3. Gosudarstvennaya gidrogeologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1: 200000, Moskovskaya i Bryansko-Voronezhskaya seriya. Svodnaya legenda. – Moskva, 1989.
4. Molotkov S. P. Obzor glavneyshikh etapov izucheniya dokembriyskikh obrazovaniy // Ekologo-geograficheskij Atlas-kniga Voronezhskoy oblasti / pod red. V. I. Fedotova. – Voronezh : Izd-vo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013. – S. 33-39.
5. Orlov M. S. Gidroekologiya gorodov : uchebnoe posobie / M. S. Orlov, K. E. Pit'eva. – Moskva : Infra, 2013. – S. 68-71.
6. Pit'eva K. E. Gidrogeokhimiya / K. E. Pit'eva. – Moskva : Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta, 1988. – 316 s.
7. Smirnova A. Ya. Mineral'nye vody Voronezhskoy oblasti (lechebnye i lechebno-stolovye) / A. Ya. Smirnova, V. L. Bocharov, V. F. Luk'yanov. – Voronezh : Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 1995. – 182 s.
8. Smirnova A. Ya. Presnye podzemnye vody. Prognoznye ekspluatatsionnye resursy i ekspluatatsionnye zapasy presnykh podzemnykh vod / A. Ya. Smirnova, N. I. Pozdnyakova // Ekologo-geograficheskij Atlas-kniga Voronezhskoy oblasti. – Voronezh : Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013. – S. 104-116.
9. Tregub A. I. Noveyshaya tektonika / A. I. Tregub // Ekologo-geograficheskij Atlas-kniga Voronezhskoy oblasti. – Voronezh : Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013. – S. 49-51.
10. Fedotov V. I. Klimat i klimaticheskij potentsial / V. I. Fedotov, A. I. Sushkov, Yu. A. Nesterov // Ekologo-geograficheskij Atlas-kniga Voronezhskoy oblasti. – Voronezh : Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013. – S. 68-73.

Питьева Клара Ефимовна

доктор геолого-минералогических наук, профессор геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, т. 8(495) 447 04 49.

Смирнова Алла Яковлевна

доктор географических наук, профессор геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. 8(473) 253 18 79.

Смирнова Анна Аркадьевна

преподаватель факультета географии, геоэкологии и туризма, Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. 8(903) 030 75 32.

Pit'eva Klara Efimovna

Doctor of geological and mineralogical sciences, Professor Faculty of Geological, Moscow State University of Lomonosov, Moscow, tel. 8(495) 447 04 49.

Smirnova Alla Yakovlevna

Doctor of Geography, Professor Faculty of Geological, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8(473) 253 18 79.

Smirnova Anna Arkad'yevna

Lecturer of Faculty of Geography, geoecology and tourism, Faculty of Geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8(903) 030 75 32.