

УДК 551.444:628.11

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ХОЗЯЙСТВЕННОГО
ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД****¹Ямашкин А.А., ¹Ямашкин С.А., ²Зибров Г.В., ²Закусилов В.П.,****¹Зарубин О.А., ¹Мучкаева Н.С.***¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: yamashkin56@mail.ru;**²ФГКВООУ ВО Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны
Российской Федерации, Воронеж, e-mail: vaiu@mil.ru*

Статья посвящена вопросам геоэкологического анализа и прогноза хозяйственного освоения подземных вод в границах Республики Мордовия. Приводится анализ гидрогеодинамических и гидрогеохимических особенностей основного эксплуатируемого водоносного каменноугольно-пермского карбонатного горизонта, зависящих от тектонических особенностей территории, литологического состава водовмещающих пород, а также тенденций водохозяйственного освоения. Задача прогнозирования геоэкологической ситуации реализована с использованием динамических рядов данных по водозаборным скважинам Саранского городского водозабора, включающих 30-летний цикл наблюдений. Прогнозирование основано на комбинированном применении жестких и мягких методов анализа, выбор которых определился особенностями решаемых проектных задач и характеристиками развития природных, социальных и экономических процессов. Основным компонентом сверточной сети для прогнозирования гидрогеохимических показателей качества подземных вод является временной сверточный модуль. Для обучения модели прогнозирования гидрогеохимических показателей использован алгоритм стохастического градиентного спуска. Эксперименты показывают, что хороший результат для решения задачи прогнозирования временных рядов дает архитектура ResNet, включающая сверточные слои и блоки субдескриптивизации, а также остаточные связи между последовательными слоями. Сравнение нескольких прогнозных вариантов, полученных различными схемами, способствовало принятию оптимальных результирующих решений по обеспечению устойчивого развития. В период до 2030 г. прогнозируется увеличение спектра показателей компонентов химического состава вод основного водоносного комплекса: хлоридов, сульфатов, натрия, сухого остатка, общей жесткости. Авторами формулируется вывод, что в долгосрочной перспективе основным вектором водохозяйственного освоения является разработка месторождений подземных вод западной части Республики Мордовии.

Ключевые слова: геоэкологический анализ, геоэкологический прогноз, подземные воды, прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод, гидрогеодинамические и гидрогеохимические процессы, гидрогеохимические компоненты, минерализация, водохозяйственное освоение

**GEOECOLOGICAL ANALYSIS AND FORECAST OF ECONOMIC
DEVELOPMENT OF UNDERGROUND WATERS****¹Yamashkin A.A., ¹Yamashkin S.A., ²Zibrov G.V., ²Zakusilov V.P.,****¹Zarubin O.A., ¹Muchkaeva N.S.***¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: yamashkin56@mail.ru;**²Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin
Air Force Academy of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh, e-mail: vaiu@mil.ru*

The article is devoted to the issues of geoecological analysis and forecast of economic development of groundwater within the borders of the Republic of Mordovia. The authors give an analysis of the hydrogeodynamic and hydrogeochemical features of the main exploited aquifer carboniferous-permian carbonate horizon; they depend on the tectonic features of the territory, the lithological composition of the water-bearing rocks, as well as trends in water development. The task of predicting the geoecological situation was realized using dynamic data series for water wells in the Saransk city water intake, which include a 30-year observation cycle. Forecasting is based on the combined use of hard and soft analysis methods, the choice of which was determined by the features of the project tasks to be solved and the characteristics of the development of natural, social and economic processes. The main component of the convolutional network for predicting hydrogeochemical indicators of groundwater quality is a temporary convolutional module, and the key layer for teaching deeper models is the pooling layer. To train the model for forecasting hydrogeochemical indicators, an algorithm of stochastic gradient descent is used. Experiments show that a good result for solving the problem of forecasting time series is provided by the ResNet architecture, a deep architecture that includes convolutional layers and pooling blocks, and the same residual connections between successive layers. An increase in the range of indicators of the components of the chemical composition of the waters of the main aquifer (chlorides, sulfates, sodium, dry residue, total hardness) is predicted until 2030. The authors conclude that the development of underground water deposits in the western part of the Republic of Mordovia is the main vector of water development in the long term.

Keywords: geoecological analysis, geoecological forecast, groundwater, predicted groundwater exploitation resources, hydrogeodynamic and hydrogeochemical processes, hydrogeochemical components, mineralization, water management

Важнейшее направление развития прикладной (оптимизационной) геоэкологии – «синтез знаний (направлений исследования) о стратегии и тактике максимально возможного сохранения эволюционных экопараметров геоэкоосферы и зонально-региональных экосфер, предотвращения кризисных, критических и катастрофических нарушений экопараметров. В задачи прикладной геоэкологии также входят разработка и внедрение различных вариантов моделей антропогенизированных сред с оптимальными экопараметрами» [1, с. 168]. Особую значимость в данном контексте имеет исследование проблем водоснабжения городов. При этом, наряду с данными, получаемыми путем инструментальных измерений (наблюдений) параметров качества подземных вод, моделирования гидрогеодинамических и гидрогеохимических процессов, большое значение приобретает специфическая информация – экспертная, основанная на опыте и интуиции специалистов-экспертов [2–4].

Прогнозирование гидрогеодинамических и гидрогеохимических процессов в геоэкоосфере сопряжено с решением задач диагностики генетической связи подземных вод с природными факторами, установления закономерностей водохозяйственного освоения месторождений подземных вод, оценки антропогенных воздействий и их последствий.

Цель выполненных исследований – разработка геоэкологического подхода в оценке проблем хозяйственного освоения ресурсов подземных вод на основе использования многомерных математико-статистических методов и нейронных сетей, оптимизирующих процедуры подтверждения выводов, полученных в процессе геолого-гидрогеологических изысканий и предварительной оценки процессов формирования химического состава подземных вод.

Материалы и методы исследования

Геоэкологические прогнозы должны базироваться на анализе предыстории изменения гидрогеологических характеристик подземных вод и заключаются в применении определенных предикатов (операторов) прогноза к сообщениям из прошлого, то есть

$$X_i(t) = B_i(x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n), t_1, t_2, \dots, t_n), i = \overline{1, n},$$

где $X(t)$ – прогнозируемое значение гидрогеохимического показателя на перспективу; B_i – предикторы прогноза; $x(t_1), \dots, x(t_n)$ –

значения исследуемых показателей, измеренные в период предыстории.

Вследствие нестационарности большинства геоэкологических процессов фактор старения информации из предыстории очень важен, поэтому ценность исходных данных в отдельных точках ретроспективы должна быть различной. Следовательно, напрашивается целесообразность введения системы весовых коэффициентов для каждого измерения $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$. Такой прогноз, на наш взгляд, с учетом веса наблюдения наиболее обоснован, поскольку он позволяет учесть основные тенденции изменения гидрогеохимических параметров.

С целью определения трендов гидрогеохимических показателей качества подземных вод был реализован метод всех возможных регрессий или кривых роста, применение которого пригодно для продолжающихся процессов, являющихся по своему характеру динамически неустойчивыми. Такое использование трендовых моделей достаточно успешно на современной стадии прогнозирования, когда необходимо определить прогнозные тенденции при сохранении закономерностей, сложившихся в прошедшем периоде.

Таким образом, требуется найти разложение

$$y(t) = f(t) + e(t),$$

где $y(t)$ – временной ряд гидрогеохимического показателя; $f(t)$ – тренд; $e(t)$ – остаточная компонента.

Решение задачи трендового прогнозирования разбивается на следующие этапы:

- анализ временного ряда, заключающийся в проверке гипотезы о существовании тренда;

- если тренд существует, экстраполяция его осуществляется одним из соответствующих методов в точках t_N , $N = \overline{1, K}$, где K – период прогноза;

- анализ остаточной компоненты, выявляющей правильность выбора функции времени.

В случае присутствия автокорреляции в остатках прогноз уточняется – прогнозные значения тренда складываются с прогнозом остаточной компоненты. В качестве методов экстраполяции трендов используются метод полиномов Чебышева, метод гармонических весов, метод Брауна, метод Бокса – Дженкинса. При прогнозировании остаточной компоненты применяется метод автокорреляционной функции. Метод

проверки гипотезы о существовании тренда реализован методом Фостера – Стьюарта – это наиболее эффективный и надежный метод, во многих случаях более практичный, так как позволяет обнаружить тренд в значении уровней, что немаловажно для диагностического анализа.

С целью автоматизированного учета сложных нелинейных зависимостей в структуре временных рядов актуально применение нейросетевых моделей: сетей прямого распространения, сверточных рекуррентных моделей [5]. Эти три типа архитектур выбраны, поскольку они широко используются для глубокого обучения моделей при прогнозировании временных рядов. Перед обучением нейронной сети массивы со значениями гидрогеохимических показателей были нормализованы, с целью повышения устойчивости процесса обучения. При этом использована такая трансформация, при которой математическое ожидание признаков сводится к нулю, а дисперсия ограничивается единицей:

$$x_{norm}(t) = \frac{x(t) - m}{\sigma},$$

где $x_{norm}(t)$ – нормализованный динамический ряд гидрогеохимических компонент подземных вод; $x(t)$ – динамический ряд; m – математическое ожидание процесса; σ – среднеквадратическое отклонение процесса.

Для обучения модели прогнозирования гидрогеохимических показателей использован алгоритм стохастического градиентного спуска. На вход модели подается набор векторов гидрогеохимических показателей, длина которых равна числу временных интервалов. Эксперименты показывают, что хороший результат для решения задачи прогнозирования временных рядов дает архитектура ResNet [6]. Основной его компонентой является кратчайшая остаточная связь между последовательными сверточными слоями.

Работа выполнялась на базе ГИС «Мордовия» Мордовского государственного университета, включающей более 100 слоев электронных карт и баз данных, отражающих структуру геосистем ландшафтной оболочки и зоны свободного водообмена Республики Мордовия [7]. Прогнозирование геоэкологической ситуации проводилось с использованием динамических рядов данных по 39 водозаборным скважинам Саранского городского водозабора с 30-летним циклом наблюдений. В качестве исходной информации были использованы

статистические данные об изменении содержания в воде Na, SO₄, Cl, а также общей жесткости, сухого остатка. На этапе ввода и предварительной обработки статистических данных были реализованы методы проверки и устранения неоднородности и мультиколлинеарности.

Результаты исследования и их обсуждение

Геоэкологический анализ и прогноз хозяйственного освоения подземных вод для решения эколого-социально-экономических проблем, предупреждения и минимизации последствий развития природно-техногенных чрезвычайных ситуаций решается посредством разработки системы электронных карт зоны свободного водообмена, сквозной цифровизации процессов обработки и анализа больших пространственных данных о взаимодействии природных, социальных и производственных систем.

Геолого-гидрогеологическая характеристика объекта исследования. В гидрогеологическом отношении изучаемая территория расположена в юго-западной части Волго-Сурского артезианского бассейна. Естественная гидрогеологическая обстановка определяется прежде всего ее тектоническими особенностями, литологическим составом водовмещающих пород. В гидрогеологическом разрезе выделяются две водоносные толщи. Первая приурочена к мезозойским и кайнозойским отложениям, а вторая – к карбонатным породам каменноугольного и пермского возраста, формирующим основной эксплуатируемый водоносный каменноугольно-пермский карбонатный горизонт на территории Республики Мордовия. На полигоне исследований – в центральной части Мордовии – гидрогеологические условия определяются каменноугольными породами, содержащими порово-трещинно-пластовые воды, которые имеют обобщенное наименование – водоносная средневерхнекаменноугольная карбонатная серия (горизонт, комплекс).

Область питания водоносного карбонатного комплекса расположена на мокша-алатырском междуречье, в зоне Алатырского вала. Кровля карбонатных пород располагается на абсолютных отметках 100–190 м и выходит на дневную поверхность или перекрывается водопроницаемыми среднеюрскими и четвертичными отложениями, что создает условия для интенсивного питания инфильтрационными атмосферными и поверхностными водами.

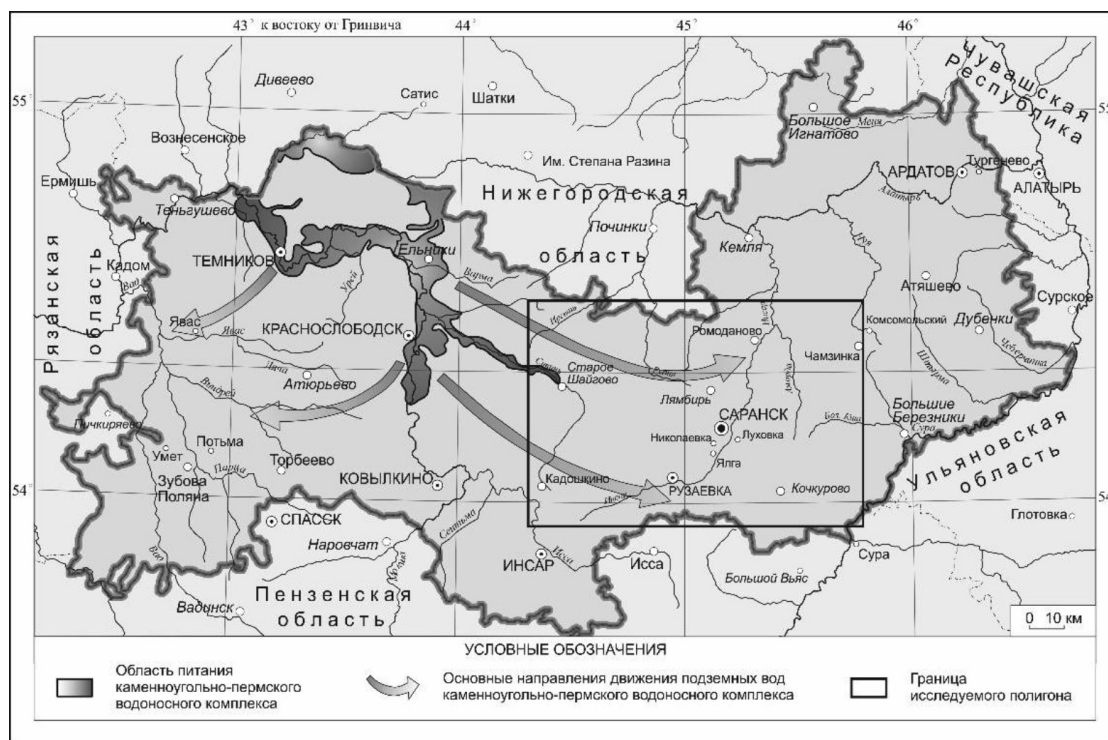


Рис. 1. Основная область питания каменноугольно-пермского водоносного комплекса и географическое положение полигона исследований

Водопроницаемость хорошо промытых и на отдельных участках закарстованных пород составляет 2000–4000 м²/сут. Подземный поток имеет радиальный характер – юг, юго-восток, восток к реке Инсар и далее – к долине Суры (рис. 1).

В междуречье Мокши и Рудни средневерхнекаменноугольный карбонатный комплекс перекрывается юрскими и меловыми песчано-глинистыми породами мощностью 50–75 м. Активная мощность водоносного горизонта уменьшается до 125–100 м. Величина водопроницаемости снижается до 1000–2000 м²/сут [8, 9].

На полигоне исследования для верхнего структурного яруса характерно общее погружение на восток, юго-восток в область Ульяновско-Саратовского прогиба. Уступ к прогибу, осложненный тектоническими разломами, имеет амплитуду погружения палеозойской поверхности до 90–100 м. По особенностям геолого-тектонического строения в зоне Инсарской флексуры выделяются три участка: Западный, Инсарский и Восточный. Западный участок, занимающий водоразделы рек Рудни и Инсара, представляет собой моноклинал, сложенную меловыми и юрскими терригенными песчано-глинистыми поро-

дами. Водопроницаемость карбонатных пород 1000–1500 м²/сут. Инсарский участок отличается наибольшей неоднородностью водопроницаемости – от 500 до 1000 м²/сут. К востоку от долины р. Инсар на междуречье Инсара и Суры карбонатная толща погружается на значительную глубину и перекрывается мощным (до 250 м) чехлом юрских и меловых преимущественно глинистых отложений (рис. 2). Карбонатные отложения здесь относительно монолитны, отличаются слабой трещиноватостью. Движение вод по ним замедленное, питание практически отсутствует. Величина водопроницаемости снижается до 500 м²/сут и менее [9].

По материалам С.К. Ларионовой и др. [10], положение пьезометрического уровня напорных вод до начала водохозяйственного освоения Саранского месторождения в районе Саранско-Рузаевского узла находилось на абсолютных отметках 130 м.

Динамика населения. Основным водопотребителем в центральной части Мордовии является г. Саранск, который концентрирует 37,5% всего населения республики. В I поясе расселения расположены г. Рузаевка, пгт. Луховка, Николаевка, Ялга, с. Зыково, Большая Елховка и пос. Ромодано-

во; плотность сельского населения свыше 15 чел./км². Если в целом по республике идет постепенное снижение численности населения, то в г.о. Саранск в последние 10 лет наблюдается небольшой рост. По состоянию на 01.01.2019 г. в Республике Мордовия проживало 795,5 тыс. чел., в г.о. Саранск – 344,4 тыс. чел., в том числе в г. Саранске – 318,6 тыс. чел. [11]. Территориальная структура хозяйства формируется под воздействием географического положения, транспортной инфраструктуры.

Ресурсы подземных вод и геозкологические последствия их освоения. Активный водоотбор на Саранском месторождении подземных вод начался с середины XX в., в первую очередь для водоснабжения г. Саранска. Для централизованного водоснабжения г.о. Саранск, кроме Саранского городского водозабора, вводятся Пензятский (1966), Саранского резинотехнического комбината (СРК) (1966), Руднинский (1979), Новотроицкий (1998), которые в настоящее время находятся в ведении Муниципального предприятия г. о. Саранск «Саранское водопроводно-канализационное хозяйство». Кроме этого, ряд промышленных предприятий и организаций имеют собственные водозаборы, бессистемно размещенные по территории города [12].

С развитием системы централизованных водозаборов начала формироваться депрессионная воронка с центром в г. Саранске. В 1960-х гг. водоотбор превысил 100 тыс. м³/сут, достигнув максимума (130 тыс. м³/сут) в 1973 г., при утвержден-

ных запасах 112 тыс. м³/сут. Общее снижение уровня подземных вод за годы эксплуатации Саранско-Рузаевского промышленного узла по центру депрессионной воронки составило 64,36 м. К концу XX в. воронка приобрела вид эллипсоида, вытянутого длиной осью в зоне Инсарской флексуры на 110 км (рис. 3, а).

Снижение промышленного водопотребления на рубеже XX–XXI вв. несколько стабилизировало гидрогеодинамическую и гидрогеохимическую обстановку. В последующие годы наблюдается подъем уровня подземных вод. Общая площадь Саранско-Рузаевской депрессии, околонтурная пьезоизогипсой 80 м, в 2018 г. составляла 1564,4 км² (рис. 3, б).

Ретроспективный анализ результатов хозяйственного освоения водных ресурсов в зоне геотехнических систем Саранско-Рузаевского промышленного узла позволил выделить факты, которые важно учитывать при составлении прогноза развития геозкологических ситуаций и разработке мероприятий по минимизации развития деструктивных процессов:

- современные утвержденные запасы подземных вод водоносного горизонта для г. Саранска составляют 295,363 тыс. м³/сут и для г. Рузаевки – 49,082 тыс. м³/сут [12];

- с 1960 по 2018 г. на участках интенсивной эксплуатации водоносного комплекса мощность зоны пресных вод сократилась на 10–40% за счет подтягивания по нижней границе более минерализованных подземных вод [12];



А. Абсолютная отметка кровли палеозойских пород



Б. Линеаменты – индикаторы тектонических разломов

Рис. 2. ГИС «Мордовия»: геолого-тектоническое строение зоны Инсарской флексуры

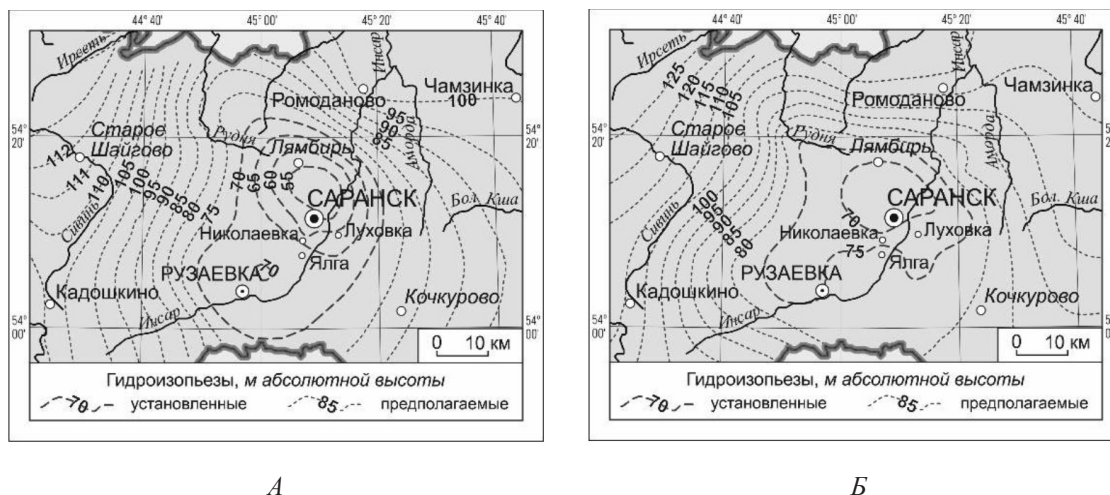


Рис. 3. Динамика пьезометрической поверхности водоносного средневерхнекарбонатного карбонатного горизонта: А – 2010 г.; Б – 2018 г. [7, 12]

– на основных водозаборных сооружениях Саранско-Рузаевского промышленного узла устойчивое превышение по минерализации до $1,4\text{--}2\text{ г/дм}^3$ отмечается на Саранском городском водозаборе и водозаборе СРК; за период наблюдений с 1993 по 2007 г. сульфатов в отдельных скважинах Пензятского и Саранского городского водозаборов концентрация сульфат-ионов достигла 400 мг/дм^3 ; общая жесткость подземных вод превышала ПДК на участках с нарушением режима эксплуатации; максимальные превышения до $3,7\text{--}7,1\text{ мг-экв/дм}^3$ от ПДК отмечались на водозаборе СРК, до $2,1\text{--}3,3\text{ мг-экв/дм}^3$ от ПДК – на Саранском городском участке [13];

– сопоставительный анализ данных о химическом составе подземных вод на 2007 г. с результатами опробования в 2017–2018 гг. показал, что, несмотря на начавшийся с 2008 г. подъем уровня подземных вод, наблюдается увеличение минерализации с $0,6\text{--}1,2\text{ г/дм}^3$ в 2007 г. до $0,8\text{--}1,4$ – в 2018 г.; общей жесткости – с $5,8\text{--}14,0$ до $8,0\text{--}20,6\text{ мг/экв-дм}^3$, содержания сульфатов – с $110\text{--}310$ до $261\text{--}375\text{ мг/дм}^3$ соответственно [12–14].

Приведенный обзор данных показывает, что в основном эксплуатируемом водоносном горизонте в условиях стабилизации гидрогеодинамической обстановки сохраняется тенденция к ухудшению качества вод. Основные загрязняющие вещества – сухой остаток, сульфаты, хлориды, натрий, а также общая жесткость.

Общий план факторов развития геоэкологической ситуации для водозаборов

Саранско-Рузаевского промышленного узла представлен на рис. 4. Минерализация и гидрохимический состав вод изменяется с запада на восток в следующей последовательности: гидрокарбонатный, сульфатно-гидрокарбонатный, сульфатно-хлоридный, смешанный. Подземные воды приобретают повышенное содержание фтора.

Прогнозирование динамики гидрогеохимических показателей проведено на базе комбинированного применения жестких и мягких методов анализа, описанных выше. Основным компонентом сети для прогнозирования временного ряда является сверточный модуль, для обучения модели использован алгоритм стохастического градиентного спуска.

Результаты моделирования показали метакронный характер развития геоэкологических ситуаций. Подъем уровня подземных вод может быть связан как с природными факторами, так и с неравномерно распределенной эксплуатационной нагрузкой на водозаборные скважины, которая в процессе эксплуатации меняется и может привести к росту уровня на одном участке и понижению на другом. При общей тенденции стабилизации гидрогеохимических процессов в зонах активного водоотбора вследствие осушения водовмещающей толщи наследуются устойчивые процессы загрязнения подземных вод за счет подтока из нижерасположенного водоносного каширско-подольского карбонатного горизонта, который содержит слабо и умеренно соленоватые подземные воды, вероятно, из восточной Мордовии (рис. 5).

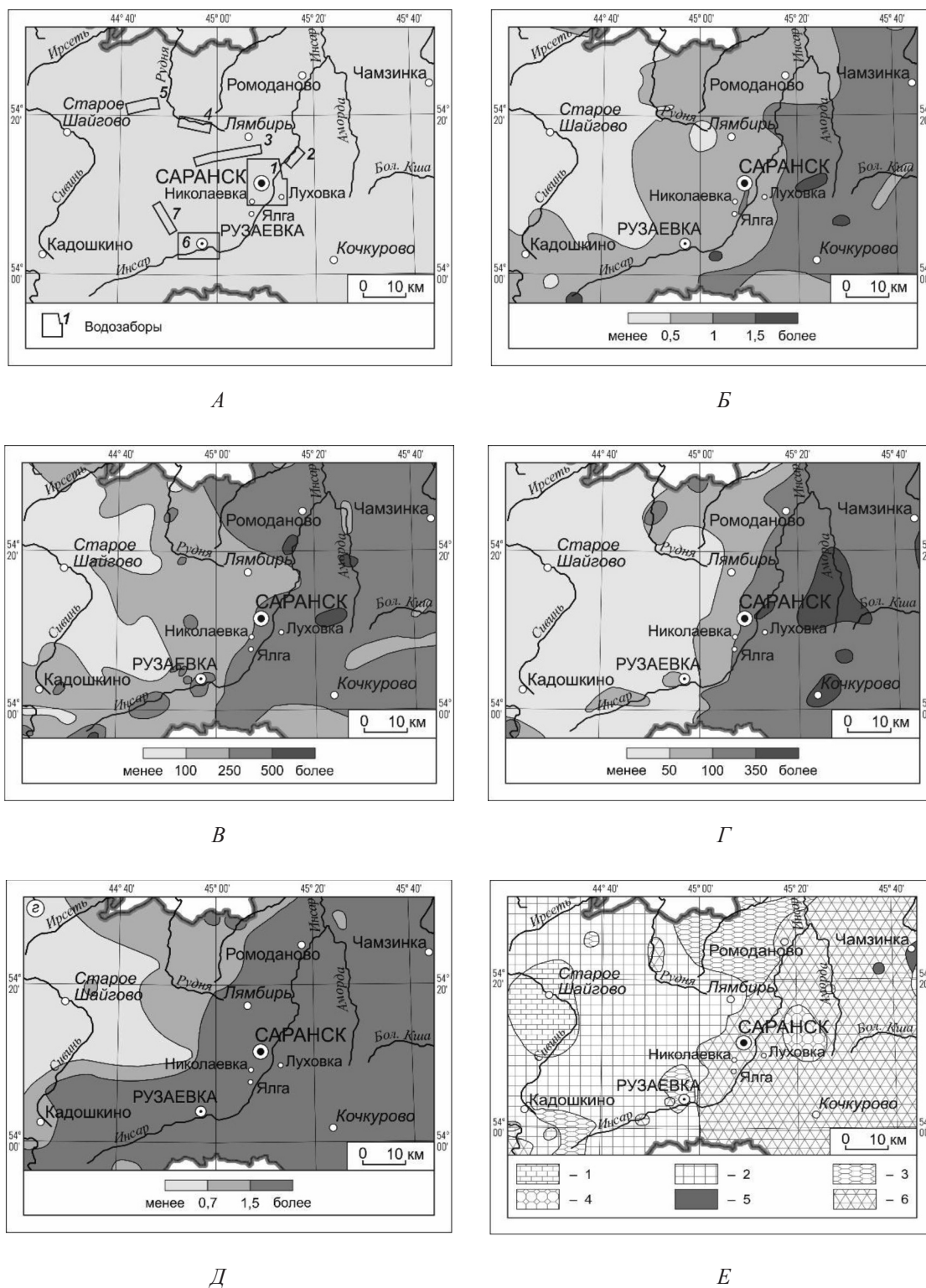


Рис. 4. ГИС «Мордовия»: гидрогеохимические факторы формирования геоэкологической ситуации на водозаборах Саранско-Рузаевского промышленного узла: А. Водозаборы: 1 – Саранский городской, 2 – Резинотехнического комбината, 3 – Пензятский, 4 – Руднинский, 5 – Новотроицкий, 6 – Рузаевский, 7 – Пишленский; Б. Величина сухого остатка, г/дм³; В. Содержание сульфатов, мг/дм³; Г. Содержание хлоридов, мг/дм³; Д. Содержание фторидов, мг/дм³; Е. Тип вод: 1 – гидрокарбонатный; 2 – сульфатно-гидрокарбонатный; 3 – гидрокарбонатно-сульфатный; 4 – сульфатно-хлоридный; 5 – хлоридно-сульфатный; 6 – смешанный

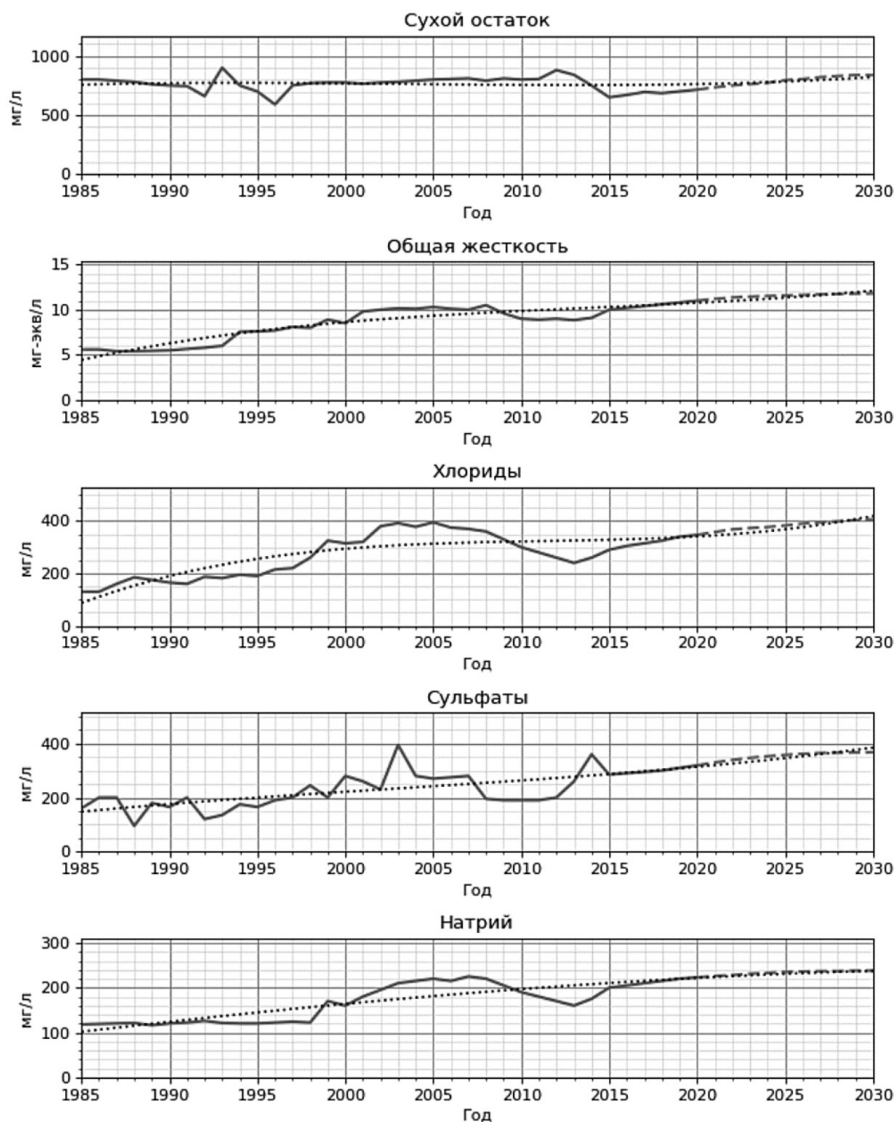


Рис. 5. ГИС «Мордовия»: динамика гидрогеохимических показателей. Сплошной линией обозначены исторические данные, пунктиром – прогнозные значения, точками – интерполяция числового ряда многочленом третьей степени

Таким образом, пространственно-временная неоднородность развития геоэкологической ситуации в зоне Саранско-Рузевского промышленного узла определяется природными и техногенными факторами. К первой группе относится положение территории в области Инсарской флексуры, определяющей контрастную границу зон свободного и замедленного водообмена в средневерхнекаменноугольном карбонатном комплексе; ко второй – концентрированное и бессистемное размещение эксплуатационных скважин и многолетняя интенсивная их эксплуатация, обусловившие сработку статических запасов и сни-

жение уровней подземных вод в скважинах, развитие неблагоприятных геоэкологических процессов.

Закключение

Прогнозирование гидрогеохимических процессов не должно сводиться к механическому перенесению условий отчетного периода на перспективу и должно быть основано на комплексном применении жестких и мягких вычислений, в том числе глубоких нейронных сетей, позволяющих автоматизировать процесс прогнозирования многопараметрических временных рядов и существенно повысить его эффективность.

Геоэкологические особенности питьевого и промышленного водоснабжения на территории Мордовии связаны с освоением водоносного средневерхнекаменноугольного карбонатного горизонта. Развитие системы централизованных водозаборов вызвало развитие в центральной Мордовии обширной депрессионной воронки. Снижение промышленного водопотребления на рубеже XX–XXI вв. стабилизировало гидрогеодинамическую и гидрогеохимическую обстановку. Результаты моделирования показывают метасинхронный характер изменения пьезометрической поверхности и развития процессов загрязнения подземных вод. В зонах активного водоотбора прогнозируется наследование процессов загрязнения вод за счет подтока слабо и умеренно соленых подземных вод. В долгосрочном планировании основным вектором является освоение месторождений подземных вод западной Мордовии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70055.

Список литературы / References

1. Бочаров В.Л. Геоэкология как наука: структурирование и тезаурус, современное состояние и перспективы развития // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2004. № 2. С. 166–171.
2. Bocharov V.L. Geocology as a science: structuring and thesaurus, current state and development prospects // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. 2004. № 2. P. 166–171 (in Russian).
3. Sanchez E.R.S., Hoyos S.E.G., Esteller M.V., Morales M.M., Astudillo A.O. Hydrogeo-chemistry and water-rock interactions in the urban area of Puebla Valley aquifer (Mexico). Journal of Geochemical Exploration. 2017. № 181. P. 219–235. DOI: 10.1016/J.GEXPLO.2017.07.016.
4. El Baghdadi M., Zantar I., Jouider A., Nadem S., Medah R. Evaluation of hydro-geochemical quality parameters of groundwater under urban activities – Case of Beni Mellal city (Morocco). Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. 2019. № 4 (1). P. 681–682. DOI: 10.1007/s41207-018-0087-4.
5. De Caro M., Perico R., Crosta G.B., Frattini P., Volpi G. A regional-scale conceptual and numerical groundwater flow model in fluvio-glacial sediments for the Milan Metropolitan area (Northern Italy). Journal of Hydrology: Regional Studies. 2020. Vol. 29. [Electronic resource]. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581819302058> (date of access: 30.07.2020).
6. Ямашкин С.А., Ямашкин А.А., Занозин В.В. Формирование репозитория глубоких нейронных сетей в системе цифровой инфраструктуры пространственных данных // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования: материалы IX Междунар. науч. форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников (г. Астрахань, 28–29 апреля 2020 г.). Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 370–375.
7. Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zanozin V.V. Formation of a repository of deep neural networks in the system of digital infrastructure of spatial data / Potencial intelektual'no odaryonnoy molodezhi – razvitiyunauchii obrazovaniya: materialy IX Mezhdunar. nauch. forumamolodyhucheniyh, innovatorov, studentovishkol'nikov (g. Astrahan', 28–29 aprelya 2020 g.). Astrahan': Astrahanskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2020. P. 370–375 (in Russian).
8. Yamashkin S., Radovanovic M., Yamashkin A., Vukovic D. Using Ensemble Systems to Study Natural Processes. Journal of Hydroinformatics. 2018. Vol. 20. № 4. P. 753–765. DOI: 10.2166/hydro.2018.076.
9. Географический атлас Республики Мордовия / Редкол.: А.А. Ямашкин (пред. кол.), С.М. Вдовин, Н.П. Макаркин, В.В. Ревин, В.В. Руженков, П.В. Сенин, Н.Е. Фомин, В.Т. Шумкин, В.А. Юрченков. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2012. 204 с.
10. Geographic Atlas of the Republic of Mordovia / Redkol.: A.A. Yamashkin (pred. kol.), S.M. Vdovin, N.P. Makarkin, V.V. Revin, V.V. Ruzhenkov, P.V. Senin, N.E. Fomin, V.T. Shumkin, V.A. Yurchenkov. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2012. 204 p. (in Russian).
11. О состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2018 году: гос. докл. Саранск, 2018. 120 с.
12. About the state and environmental protection in the Republic of Mordovia in 2018: gos. dokl. Saransk, 2018. 120 p. (in Russian).
13. Водные ресурсы Республики Мордовия и геоэкологические проблемы их освоения / Ред. группа: С.И. Горенков, Г.В. Гришаков, В.А. Гуляев, Б.И. Кочуров, Ю.И. Рыбин, А.А. Свиридов, Л.М. Талалаевский, А.М. Шутков, А.А. Ямашкин (отв. ред.). Саранск, 1999. 188 с.
14. Water resources of Republic Mordovia and geocological problems of their development / Red. gruppa: S.I. Gorenkov, G.V. Grishakov, V.A. Gulyaev, B.I. Kochurov, Yu.I. Rybin, A.A. Sviridov, L.M. Talalaevskij, A.M. Shutov, A.A. Yamashkin (otv. red.). Saransk, 1999. 188 p.
15. Ларионова С.К., Плотикинов В.С., Порунов С.К. Отчет о гидрогеологических работах по переоценке эксплуатационных запасов подземных вод Саранского месторождения за 1974–1977 гг. Мордовская АССР. Саранск, 1977. 272 с.
16. Larionova S.K., Plotnikov V.S., Porunov S.K. Report on hydrogeological work on the revaluation of operational groundwater reserves of the Saransk deposit for 1974–1977. Mordovian Autonomous Soviet Socialist Republic. Saransk, 1977. 272 p. (in Russian).
17. Мордовия: Стат. ежегодник Мордовиястат. Саранск, 2019. 438 с.
18. Mordovia: Stat. Yearbook Mordoviyastat. Saransk, 2019. 438 p. (in Russian).
19. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Приволжского федерального округа за 2018 год. Вып. 18: в 2 кн. Кн. 1. Подземные воды / Приволжский РЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология». Н. Новгород, 2019. 292 с.
20. Information bulletin on the state of the subsoil of the territory of the Volga Federal District for 2018. Iss. 18: in 2 books. Book 1. Groundwater / Privolzhskij RC GMSN FGBU «Gidrospecegeologiya». N. Novgorod, 2019. 292 p. (in Russian).
21. Отчет по гидрогеологическому обоснованию системы водоснабжения г. Саранска, выполненному Приволжским региональным центром Государственного мониторинга состояния недр в 2005–2007 гг. / ФГУП «Волгагеология»; Приволжский РЦ ГМСН. Н. Новгород, 2007. 326 с.
22. Report on the hydrogeological substantiation of the water supply system in Saransk, carried out by the Volga Regional Center for State Monitoring of the Subsoil Condition in 2005–2007 / FGUP «Volgeologiya»; Privolzhskij RC GSMN. N. Novgorod, 2007. 326 p. (in Russian).
23. Отчет о результатах работ по объекту «Разработка математической гидрогеологической модели Саранского промрайона с целью ее использования для управления ресурсной базой питьевых и технических подземных вод и оценка их ресурсного потенциала»: в 2 кн. Кн. 1 / АО «Росгео». М.: ФГБУ «Российский федеральный геологический фонд», 2019. 292 с.
24. Report on the results of work on the object «Development of a mathematical hydrogeological model of the Saransk industrial area with the aim of using it to manage the resource base of drinking and technical groundwater and assessment their resource potential»: in 2 books. Book 1 / AO «Rosgeo». M.: FGBU «Rossijskij federal'nyj geologicheskij fond», 2019. 292 p. (in Russian).