

7. Martynova G. S., Aliev A. A., Babaev F. R., Guliev I. S. Nanocolloid structures in crude oils from the mud volcanoes of Azerbaijan. *Geochemistry International*. 2013. Vol. 51, No. 9. pp. 764–766.
8. Kerimov V. Yu., Mustaev R. N., Yandarbiev N. Sh., Movsumzade E. M. Environment for the Formation of Shale Oil and Gas Accumulations in Low-Permeability Sequences of the Maikop Series, Fore-Caucasus. *Oriental Journal of Chemistry*. 2017. Vol. 33, No. 2. pp. 879–892.
9. Shnyukov Ye. F., Aliyev Ad. A., Rahmanov R. R. Mud volcanism of mediterranean, Black and Caspian Seas: specificity of development and manifestations. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*. 2017. No. 2(48). pp. 5–25.
10. Huseynov D. A. Maturity of the hydrocarbon fluids and their deep stratigraphic sources in the South-Caspian Basin. *Earth Science for Energy and Environment : Proceedings of the 77th EAGE Conference and Exhibition*. Madrid, 2015.
11. Kerimov V. Yu., Mustaev R. N., Dmitrievsky S. S., Zaitsev V. A. Evaluation of secondary filtration parameters of low-permeability shale strata of the Maikop series of Central and Eastern Ciscaucasia by the results of geomechanics modeling. *Oil Industry*. 2016. No. 9. pp. 18–21.
12. Baloglanov E. E., Abbasov O. R., Akhundov R. V., Huseynov A. R., Abbasov K. A., Nuruyev I. M. Daily activity of mud volcanoes and geoeological risk: a case from Gaynarja mud volcano, Azerbaijan. *European Journal of Natural History*. 2017. No. 4. pp. 22–27.
13. Ramazanova E. L. Key structural characteristics of the Caspian Sea bottom. *Alleya nauki*. 2017. No. 11(1). pp. 381–384.
14. Lebedev S. A. The dynamics of the Caspian Sea based on satellite altimetry data. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2015. Vol. 12, No. 4. pp. 72–85.
15. Serebryakova V. I., Yermolina A. V. Optimization of the complex of geological and geophysical researches at different stages of exploration works in the water area of the Caspian Sea and adjacent regions. *Geology, geography and global energy*. 2016. No. 63(4). pp. 24–30.
16. Babaev R. R., Salaev N. S. The role of tectonic fractures in generation, conservation and decomposition of oil and gas in the productive strata of the west wall of the South Caspian Basin. *Caucasian Oil and Gas Potential : Collection of Scientific Papers*. Moscow : Nedra, 1988. pp. 87–92.

УДК 553.06:556.53

## ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОДЗЕМНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОСКОВСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА

**М. М. ЧЕРЕПАНСКИЙ**<sup>1</sup>, зав. кафедрой, д-р геол.-минерал. наук, vodamch@mail.ru

**О. А. КАРИМОВА**<sup>1</sup>, доцент, канд. геол.-минерал. наук

**А. В. ДЗЮБА**<sup>2</sup>, старший научный сотрудник, канд. геогр. наук

**О. Е. ВЯЗКОВА**<sup>1</sup>, проф., д-р геол.-минерал. наук

<sup>1</sup>Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

*Предложены методология и оценка изменения подземной составляющей водных ресурсов в условиях крупномасштабного использования подземных вод и изменяющегося климата, апробированные на западной части Московского артезианского бассейна.*

**Ключевые слова:** Московский артезианский бассейн, подземные воды, ресурсы, отбор подземных вод, изменения климата.

**DOI:** 10.17580/gzh.2018.11.04

### Введение

Водные ресурсы артезианских бассейнов формируются под влиянием большого числа природных и антропогенных факторов. Для долгосрочного планирования обеспеченности водными ресурсами необходим прогноз их возможного изменения в процессе интенсивной эксплуатации и вариаций климата.

Региональные исследования формирования ресурсов подземных вод западной части Московского артезианского бассейна выполняли в 1960–1990-х годах российские и белорусские гидрогеологи; их результаты опубликованы в ряде монографий и научных статей. Это работы А. П. Лаврова, П. А. Киселева, И. С. Зекцера, И. Л. Дзилна, М. М. Черепанского и других авторов, которые определили научные и методические основы региональных исследований речных и артезианских бассейнов и в целом отражают изученность подземных вод на уровне того времени.

Анализ методологических подходов, используемых при определении восполнения речного стока за счет подземных вод, показал, что они имеют ряд преимуществ и недостатков, а область их применения зависит от участка проведения исследований. На участках, выделяемых как область питания, главными методологическими подходами, применяемыми для вычисления, являются расчеты инфильтрационного питания, определение среднесуточного и межennaleго баланса. На участках транзитного стока используется гидродинамический метод, а в областях разгрузки –

гидрометрический, балансовый, гидрохимический и гидродинамический методы [1].

В последние десятилетия важное значение приобретают проблемы, обусловленные климатическими изменениями. В качестве климатических переменных наиболее часто рассматривают температуру приземного воздуха, атмосферные осадки, атмосферное давление, а также направление и скорость ветра. Изменения климата неизбежны. Являются ли современные климатические изменения значимыми для тех или иных компонент природной среды и, в частности, для подземных вод? Этот вопрос становится все более актуальным в связи с необходимостью разработки стратегии устойчивого развития регионов. Кроме природных, степень взаимосвязи различных составляющих водных ресурсов все больше определяется антропогенными факторами. Так, например, изъятие поверхностных и подземных вод для водоснабжения, водоотлив при строительстве и добыче полезных ископаемых карьерным и шахтным способами [2–4]. Все это вызывает необходимость в усовершенствовании методов прогнозов изменения водных ресурсов с учетом изъятия подземных вод и изменения климата [5–9].

### Методология оценки изменения подземного стока

Предлагается упрощенный, но комплексный методологический подход, который условно можно разделить на два блока:

- климатический (оценка влияния вариаций климата – изменение величины атмосферных осадков и температуры приземного воздуха – на питание подземных вод);

- геолого-гидрогеологический (количественная оценка среднегодовых характеристик подземного стока, оценка питания подземных вод за счет атмосферных осадков, коэффициентов подземного стока и коэффициентов подземного питания рек; гидродинамический расчет взаимодействия поверхностных и подземных вод при изъятии последних по доли участия каждого водоносного комплекса).

Для научно обоснованной оценки чувствительности подземных вод к современным вариациям климата необходимо решение двуединой задачи: статистически обоснованный анамнез и физически обоснованные сценарии возможных в ближайшие десятилетия изменений климатических параметров, определяющих режим подземных вод.

Климатический анамнез заключается в статистическом описании многолетних изменений гидрометеорологических характеристик, определяющих питание подземных вод, на протяжении последних десятилетий. Для решения этой задачи использованы авторские методики [10–13]:

- стохастического моделирования временных рядов с использованием метода спектрального анализа по принципу наибольшей энтропии, позволяющая оптимально учитывать имеющуюся информацию, налагая минимум ограничений на ход процесса вне интервала изучаемых изменений; применение метода наибольшей энтропии приводит к использованию стохастических моделей авторегрессии конечного порядка; конкретные расчеты сводятся к определению порядка авторегрессии, коэффициентов процесса авторегрессии и дисперсии остаточного белого шума; для каждого ряда рассчитывали 21 вариант авторегрессии (от 0-го до 20-го порядка);

- выявления и оценки параметров линейного тренда и тренда 2-го порядка; состоит в вычислении и анализе: уравнений тренда; коэффициента детерминации (единица минус доля необъясненной дисперсии в общей дисперсии зависимой переменной); стандартных ошибок угловых коэффициентов и других параметров уравнения тренда; F- и T-статистик (распределений Фишера и Стьюдента), позволяющих оценить вероятность случайности определения коэффициента детерминации и полезность (статистическую значимость) углового коэффициента тренда; достоверности коэффициента при квадратном члене уравнения параболы, характеризующего тренд 2-го порядка; оценка трендов 2-го порядка позволяет судить об ускорении или затухании выявленной тенденции в многолетних рядах климатических переменных;

- кусочно-линейной аппроксимации; заключается в разбиении исследуемого ряда на куски с заданной минимальной длиной в 4 года со всеми возможными вариантами; иными словами, можно говорить об ориентации на масштабы изменчивости с периодом более 8 лет; критерий выбора оптимального варианта разбивки на куски – минимум общей остаточной суммы квадратов; этот метод позволяет выявить общую закономерность процесса и, что самое важное, обнаружить «точки перегиба» в трендах этого процесса.

Для оценки возможных в ближайшие 15 лет сценариев изменения таких климатических характеристик, как температура воздуха и количество атмосферных осадков, а также такого интегрального климатического параметра, как осадки минус испарение, использована методика численного климатического эксперимента [14] в рамках множества глобальных климатических моделей, участвующих в пятом этапе сравнения результатов моделирования будущих изменений климата (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) [15].

Изменение подземной составляющей в водных ресурсах артезианских бассейнов при рассмотрении водохозяйственных задач целесообразно оценивать с учетом гидрологических, гидрогеологических, административных и государственных границ. Поэтому оценку изменения водных ресурсов артезианских бассейнов рекомендуется выполнять в пределах речных бассейнов и водохозяйственных участков.

Методика оценки доли подземной составляющей в общем речном стоке для выбранных водохозяйственных участков основана на составлении карты основных элементов водного баланса и заключается в сборе и обобщении имеющегося материала по климатическим и гидролого-гидрогеологическим данным. Показатели по испарению оценивают по расчетным зависимостям, разработанным для расчета испарения в мелиоративных целях (метод В. С. Мезенцева). Кроме того, в связи с увеличением техногенного воздействия на окружающую среду и подземные воды как ее части, учитывают влияние негативных факторов (в частности, интенсивного водоотбора) путем уменьшения или увеличения результирующего значения подземной составляющей речного стока (в зависимости от направленности техногенного вмешательства).

Методика определения вариации подземного стока при изъятии подземных вод в пределах речного бассейна базируется на расчетах уменьшения естественного питания реки подземными водами по каждому участку водоотбора и величины фильтрации поверхностных вод к водозабору. Расчеты выполняют для каждого эксплуатируемого водоносного горизонта. Результаты обобщают по водохозяйственным участкам, а затем в целом по всему бассейну. Расчеты сокращения подземного стока в реки при отборе подземных вод выполняют аналитическими и численными методами. Для каждого участка водозабора строят гидрогеологическую схему, которую в результате схематизации представляют в виде геофильтрационной и гидродинамической расчетных схем. На основе последней, исходя из гидрогеологических параметров и величины дебита водозабора, выполняют расчет сокращения разгрузки подземного потока в реки [16]. Методика позволяет установить степень влияния каждого водоносного горизонта, из которого осуществляют отбор, на изменение формирования подземного стока в реку.

Рекомендации по использованию комплексных методов региональной оценки подземного стока и подземного питания рек с учетом гидрогеологических и гидрологических особенностей рассматриваемой территории и влияния эксплуатации водозаборов подземных вод основываются на бассейновом подходе и строении зоны дренирования. Для получения достоверных данных о подземном питании рек необходимо совместное рассмотрение режима поверхностного и подземного стоков в пределах водосбора с обо-

снованием характера и степени их взаимодействия. Оценку подземного стока следует выполнять в замыкающем створе малых водосборов, отличающихся однородным гидрогеологическим строением. В районах, характеризующихся интенсивной техногенной нагрузкой на подземную составляющую речного стока, необходимо учитывать это воздействие путем увеличения или уменьшения величины подземного стока в зависимости от направленности воздействия техногенных факторов (например, интенсивного водоотбора для целей водоснабжения и водопонижения).

### Оценка изменения подземного стока на примере Верхнего Днепра

Апробацию методики региональной оценки подземного стока с учетом климатических изменений и отбора подземных вод проводили в западной части Московского артезианского бассейна на примере речного бассейна Верхнего Днепра в пределах водохозяйственных участков р. Днепр: от истока до г. Дорогобужа; от г. Дорогобужа до г. Смоленска и вдоль российской части р. Днепр ниже г. Смоленска [17].

Для верхней части бассейна характерно смешанное питание р. Днепр, с преобладанием снегового питания (около 50 %), на дождевое и подземное приходится 20 и 30 % соответственно [18].

Основными водоносными комплексами, используемыми для хозяйственно-питьевого водоснабжения, являются девонский, в меньшей степени – каменноугольный, и еще в меньшей степени – четвертичный, меловой и юрский. Для всех рассмотренных водоносных комплексов формирование ресурсов подземных вод происходит путем непосредственной инфильтрации атмосферных осадков либо вследствие перетекания из вышележащих водоносных горизонтов на водораздельных площадях. Разгрузка подземных вод осуществляется путем перетекания в вышележащие горизонты, а также в речную сеть и испарения с уровня грунтовых вод. Следует отметить, что какого-либо выдержанного регионального водоупора между водоносными горизонтами, приуроченными к отложениям кайнозойского и палеозойского возрастов, нет [19, 20].

Для получения статистик вариаций климатических параметров, определяющих естественные ресурсы подземных вод, на протяжении последних десятилетий был сформирован массив эмпирических данных, полученных из архивов гидрометеорологических станций и постов соответствующих управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ и РБ. Использованный массив эмпирических данных состоит из многолетних рядов значений температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков в интервале 1936–2014 гг. с месячной, сезонной и годовой дискретностью. Ряды наблюдений проверены на репрезентативность, однородность и достоверность. Интервал, равный 78 годам, конгруэнтен периоду возобновления или скорости водообмена подземных вод зоны активного водообмена в платформенных областях, который составляет 100–200 лет [21]. Длина ряда, равная 78 членам, также достаточна для получения статистически обеспеченных оценок о закономерностях многолетних изменений рассматриваемых процессов. Полученные результаты о влиянии климатических вариаций

в течение прошедших восьми десятилетий на режим подземных вод сводятся к следующим положениям.

В течение 1936–2014 гг. в среднегодовых и сезонных рядах приземной температуры воздуха проявляется статистически незначимый на 99%-ном уровне значимости положительный линейный тренд. Доля линейного тренда в общей дисперсии процесса колеблется всего лишь от 9 % в среднегодовых и зимних значениях до менее чем 5 % в другие сезоны. При этом для всех рядов температуры воздуха, кроме зимних, отмеченные статистики распределений Стьюдента и Фишера не соответствуют критическим значениям, позволяющим принять гипотезу о наличии линейного тренда с вероятностью более 0,95. Таким образом, модель линейного тренда для описания многолетних изменений приземной температуры воздуха в 1936–2014 гг. применима только для зимнего периода на уровне значимости 0,05. Для описания многолетней изменчивости приземной температуры воздуха в другие сезоны за тот же период предпочтительна стохастическая модель вида простой марковской цепи с параметром регрессии 0,2–0,4. В 1976–2014 гг. линейные тренды во всех рядах приземной температуры воздуха статистически значимы на 95%-ном уровне значимости. В интервале 1976–2014 гг. значения угловых коэффициентов тренда составляют от 0,03 °C в год весной до 0,05 °C в год для среднегодовых и зимних значений.

В интервале 1936–2014 гг. в среднегодовых и сезонных рядах атмосферных осадков статистически значимых линейных трендов даже на уровне 95%-ной значимости не выявлено. Изменение атмосферных осадков в интервале 1936–2014 гг. оптимально описывать с помощью модели «белого шума». В течение 1976–2014 гг. в среднегодовых и сезонных рядах атмосферных осадков проявляется статистически незначимая на 99%-ном уровне тенденция к росту.

С учетом разнонаправленности воздействия на режим подземных вод роста температуры приземного воздуха (увеличения эвапотранспирации) и количества атмосферных осадков можно констатировать отсутствие статистически значимой чувствительности подземных вод зоны активного водообмена к чисто климатическим воздействиям на протяжении последних восьми десятилетий.

Результаты численных климатических экспериментов в рамках проекта CMIP5 показывают, что при реализации «мягкого» климатического сценария RCP 2.6 на территории западной части Московского артезианского бассейна в интервале 2011–2031 гг. по отношению к базовому климатическому периоду 1981–2000 гг. ожидаются следующие изменения основных климатических переменных (см. таблицу).

Значения возможных изменений температуры приземного воздуха примерно равны по абсолютной величине среднеквадратичному отклонению многолетних межгодовых изменений (1,1–1,6 °C). Возможные изменения количества атмосферных осадков по абсолютной величине примерно равны среднеквадратичному отклонению многолетних межгодовых изменений (5,5 %) и не превышают точности их эмпирической фиксации (5 %). Расчетные модельные оценки параметра «осадки минус испарение» свидетельствуют о примерно «нулевом» их изменении.

**Результаты численных климатических экспериментов по множеству моделей в рамках проекта СМIP5 о возможных изменениях климатических переменных по отношению к базовому периоду 1981–2000 гг. в интервале 2011–2031 гг. при реализации климатического сценария RCP 2.6**

Период осреднения	Приземная температура воздуха, °С	Атмосферные осадки, %	Осадки минус испарение, %
Год	+ 0,9 ... + 1,2	+ 3 ... + 4	0
Весна	+ 1,0 ... + 1,4	+ 4 ... + 6	+1
Лето	+ 1,4 ... + 1,6	+ 1 ... + 2	0
Осень	+ 1,2 ... + 1,5	+ 1 ... + 3	0
Зима	+ 1,1 ... + 1,8	+ 2 ... + 5	+1

Таким образом, расчетные величины изменения основных климатических переменных не свидетельствуют о реальности статистически значимого влияния климатических изменений в интервале 2011–2031 гг. на режим естественного питания подземных вод западной части Московского артезианского бассейна при реализации наиболее «мягкого» климатического сценария RCP 2.6.

Анализ геолого-гидрогеологических условий верхней части бассейна р. Днепр позволил установить, что она неоднородна по условиям формирования подземного стока. Это дало возможность выделить основные водоносные комплексы, принимающие участие в формировании подземного стока: четвертичные, верхне- и среднедевонские и нижнекаменноугольные.

На участке от истока до г. Дорогобужа формирование подземного стока происходит в нижнекаменноугольных отложениях (порядка 70 %). Доля участия верхнедевонских отложений на данном участке не превышает 30 %. В целом по участку модуль подземного стока составляет 2–3 л с 1 км<sup>2</sup>, уменьшаясь до 1–2 л с 1 км<sup>2</sup> ближе к истоку р. Днепр.

На участке от г. Дорогобужа до г. Смоленска в целом картина не меняется: преобладающее значение в формировании подземного стока (порядка 70 %) принадлежит нижнекаменноугольным отложениям. Однако в бассейне р. Воль (правый приток р. Днепр) основная доля участия в формировании подземного стока приходится уже на четвертичные отложения, представленные песчано-глинистыми породами с включением грубообломочных разностей. В подчиненном положении оказываются как нижнекаменноугольные (правая долина р. Воль), так и верхнедевонские (левая долина р. Воль) отложения. В целом модули подземного стока здесь составляют 2–3 л с 1 км<sup>2</sup>.

На участке г. Смоленск – граница РФ основная роль в формировании подземного стока принадлежит четвертичным отложениям (порядка 70 %). В целом модуль подземного стока на данном участке составляет 2–3 л с 1 км<sup>2</sup>.

На основании характеристики основных водоносных и разделяющих горизонтов выполнена схематизация гидрогеологических условий и получены основные расчетные схемы в разрезе. Схематизация включала геофильтрационную и гидродинамическую стадию с построением соответствующих схем. При приведении участков водозаборов к однотипным фильтрационным схемам на территории исследуемых водохозяйственных участков бассейна р. Днепр

в пределах Российской Федерации установлены три типа расчетных гидродинамических схем в разрезе: одно-, двух- и трехслойный пласты. Однослойный пласт предполагает, что водозабор эксплуатирует однослойный водоносный горизонт (четвертичный или девонский), дренируемый рекой. Двухслойный пласт – водозабор эксплуатирует нижний водоносный горизонт (четвертичный или девонский), дренируемый рекой, но отделенный от реки слабопроницаемым горизонтом (московской мореной). Трехслойный пласт – водозабор эксплуатирует нижний водоносный горизонт (девонский или нижнего карбона), дренируемый рекой, но отделенный от реки слабопроницаемым слоем (перекрыт достаточно выдержанным водоупором, представленным глинистыми отложениями малевского и упинского горизонтов нижнего карбона или глинистыми разностями, приуроченными к яснополянским отложениям нижнего карбона, мореным и межморенным образованиям четвертичного возраста, или мергельно-глинистые породы нижней части ливенско-евлановского горизонта, а также суглинки днепровской и московской морены) и водоносным горизонтом четвертичных отложений. Исходя из геологического строения и гидрогеологических условий верхней части бассейна р. Днепр по трем водохозяйственным участкам получены основные расчетные схемы в разрезе.

Оценку влияния отбора подземных вод подземного стока по первому и третьему участкам выполняли аналитическим методом, а по второму участку – методом численного моделирования. В результате расчетов величина коэффициента сокращения подземного стока в реки при отборе подземных вод по участкам составила: по первому – 0,25; второму – 0,75; третьему – 0,9, что соответствует 26,8; 224,3 и 24,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Наибольшее сокращение подземной составляющей речного стока отмечено на водохозяйственном участке от г. Дорогобужа до г. Смоленска. Депрессионная воронка (с понижением уровня порядка 43 м), сформировавшаяся вследствие интенсивного отбора подземных вод на хозяйственно-питьевое водоснабжение, охватывает практически всю территорию г. Смоленска и разделяется р. Днепр. В результате р. Днепр недополучает порядка 13 % подземного притока на этом участке. Что касается первого водохозяйственного участка, то, несмотря на интенсивный отбор подземных вод, его влияние на подземную составляющую речного стока незначительное (2 %), что обуславливается наличием мощной толщи глинистых отложений нижнекаменноугольного возраста. На третьем участке, несмотря на хорошую взаимосвязь подземных и поверхностных вод, влияние водоотбора на подземный сток тоже незначительное (2 %) в связи с отсутствием крупных водопотребителей. В целом по бассейну Верхнего Днепра величина подземного стока в будущем уменьшится на 6 %.

Вместе с тем техногенные факторы (в частности, активный отбор подземных вод) оказывают воздействие на подземную составляющую речного стока, что проявляется в изменении модуля подземного стока на выделенных водохозяйственных участках (см. рисунок).

Следует отметить, что на сегодняшний день это влияние незначительное, однако в перспективе активный отбор подземных вод для целей водоснабжения может существенно уменьшить величину подземного стока.

## Заключение

Проведенные исследования показывают, что подземные воды водоносных горизонтов верхней гидродинамической зоны западной части Московского артезианского бассейна в статистически значимой степени нечувствительны к вариациям современного климата, но подвергаются влиянию техногенных факторов. Однако, несмотря на то, что подземные воды зоны активного (средняя мощность в платформенных областях 100 м) водообмена климатогенны, сформулированный выше вывод не отрицает реальности заметных изменений режима подземных вод верхних гидродинамических зон на протяжении последних 80 и ближайших 15 лет. Это связано с тем, что подземные воды основных водоносных горизонтов верхней гидродинамической зоны на современном этапе, помимо чисто климатических воздействий, испытывают интенсивное антропогенное влияние, проявляющееся в первую очередь в их эксплуатации. До настоящего времени методика четкого разделения реакции подземных вод на воздействия различного рода не разработана. Предлагаемый в статье подход может рассматриваться как необходимый шаг для решения этой задачи. Более того, следует учитывать возможность формирования синергетического эффекта в реакции подземных



**Карта подземного стока и элементов водного баланса с учетом влияния водоотбора**

вод при воздействии на них множества факторов, который может значительно превышать простую сумму эффектов при рассмотрении каждого из воздействий отдельно. Предлагается выполнить подобные оценки в бассейне р. Днепр западной части Московского артезианского бассейна в районе городов Брянск и Курск, где величина эксплуатации подземных вод интенсивнее.

## Библиографический список

- Зекцер И. С. Закономерности формирования подземного стока и научнометодические основы его изучения. – М.: Наука, 1977. – 173 с.
- Проданов А. Н., Тюлькин А. П., Зотеев О. В. Перспективы применения технологий пастового сгущения отходов обогащения для рекультивации отработанных карьеров // Цветные металлы. 2015. № 12. С. 13–18. DOI: 10.17580/tsm.2015.12.02
- Lepikhin A. P., Perepelitsa D. I., Nechaeva S. V., Skopinov M. V. Hydrological aspects of estimation of consequences of subsidence of territories due to large-scale mining works // Eurasian Mining. 2013. No. 2. P. 46–48.
- Куриленко В. В., Хайкович И. М. Методика оценки эколого-геологического загрязнения территорий осваиваемых месторождений полезных ископаемых // Обогащение руд. 2015. № 3. С. 56–60. DOI: 10.17580/or.2015.03.10
- Rossmann N. R., Zlotnik V. A., Rowe C. M., Szilagyi J. Vadose zone lag time and potential 21st century climate change effects on spatially distributed groundwater recharge in the semi-arid Nebraska Sand Hills // Journal of Hydrology. 2014. Vol. 519. P. 656–669.
- Rossmann N. R., Zlotnik V. A. Review: Regional groundwater flow modeling in heavily irrigated basins of selected states in the western United States // Hydrogeology Journal. 2013. Vol. 21. Iss. 6. P. 1173–1192.
- Barthel R., Banzhaf S. Groundwater and Surface Water Interaction at the Regional-scale – A Review with Focus on Regional Integrated Models // Water Resources Management. 2016. Vol. 30. Iss. 1. P. 1–32.
- Подземные воды Мира: ресурсы, использование, прогнозы / под ред. И. С. Зекцера – М.: Наука, 2007. – 438 с.
- Черепанский М. М. Региональные оценки сокращения речного стока при отборе подземных вод. – М.: НИА–Природа, 2006. – 156 с.
- Дзюба А. В. Формализация зависимости температурного режима Атлантико-Евразийской приполярной зоны от североатлантического колебания // Метеорология и гидрология. 2009. № 5. С. 16–33.
- Zektser I. S., Dzyuba A. V. Uncertainties in the Assessment of Climate Change Impacts on Groundwater // Episodes. 2015. Vol. 38. No. 1. P. 49–53.
- Дзюба А. В., Логинов В. В. К вопросу о достоверности оценок климатически обусловленных изменений ресурсов подземных вод // Вода: химия и экология. 2017. № 3. С. 46–55.
- Логинов В. Ф., Микуцкий В. С. Изменения климата: тренды, циклы, паузы. – Минск: Белорусская наука, 2017. – 179 с.
- Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M. M. B., Allen S. K. et al. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2013. – 1552 p.
- Phillips A. S., Deser C., Fasullo J. Evaluating Modes of Variability in Climate Models // Eos, Transactions American Geophysical Union. 2014. Vol. 95. No. 49. P. 453–455.
- Черепанский М. М. Теоретические основы гидрогеологических прогнозов влияния отбора подземных вод на речной сток. – М.: НИА–Природа, 2005. – 260 с.
- Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Днепр (российская часть): утв. Приказом Московско-Окского бассейнового водного управления от 05.04.2014 № 90. URL: <http://www.m-obvu.ru/activity/proekty/> (дата обращения: 19.04.2018).
- Реки и озера мира: энциклопедия / под ред. В. И. Данилова-Данильяна. – М.: Энциклопедия, 2012. – 928 с.
- Степкина Н. В. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Смоленской области за 2014 год. – Смоленск, 2015. Вып. 20. – 150 с.
- Современное состояние подземных источников питьевого водоснабжения бассейна Днепра / под ред. Л. С. Язвина, В. М. Шестопалова, М. М. Черепанского. – Минск: Белсэкс, 2004. – 87 с.
- Зверев В. П. Вода в Земле. – М.: Научный мир, 2009. – 252 с. **PK**

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 11, pp. 29–34  
DOI: 10.17580/gzh.2018.11.04

### Natural and man-made impacts on groundwater in the west of the Moscow artesian basin

#### Information about authors

**M. M. Cherepansky**<sup>1</sup>, Head of Chair, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, vodamch@mail.ru

**O. A. Karimova**<sup>1</sup>, Associate Professor, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences

**A. V. Dzyuba**<sup>2</sup>, Senior Researcher, Candidate of Geographic Sciences

**O. E. Vyazkova**<sup>1</sup>, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences

<sup>1</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Institute of Water Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

#### Abstract

The article addresses impact of nature and technology on generation and volume of groundwater component in river flow. The regional research into formation of groundwater in the west of the Moscow artesian basin in the 1960s–90s set the scientific and methodical framework for the areal studies of river and artesian basins. Aiming to estimate the effect of the current climate changes and anthropogenic activity on groundwater, a simplified though integrated approach composed of two main blocks, i.e. climate and geology–hydrogeology, is proposed. In terms of the western Moscow artesian basin, the statistical analysis of the long-term variation in the hydrometeorological characteristics of groundwater recharge over the period of the late eighty years is performed. The module estimates of possible changes in the climatic parameters are obtained for the nearest 15 years. The reliable knowledge on the underground

recharge of rivers requires the joint analysis of the surface and underground flows within a catch basin with the substantiation of nature and rate of the interaction between these two regimes. According to the results obtained for the west of the Moscow artesian basin, groundwater of the top hydrodynamic zone aquifers are statistically insensitive relative to the modern climatic fluctuations but exposed to anthropogenic impact. It is emphasized that the Upper Dnepr in the middle of the basin will incur a deficit of 13 % of underground inflow in case of groundwater use. In the first and third water-resources regions, the impact on the groundwater component is low (2 %). In the first region, the low impact, even in case of heavy groundwater withdrawal, is conditioned by the presence of thick low Carboniferous argillaceous deposits. In the third region, there are no large water consumers though there is a good connection between ground and surface water. On the whole, in the Upper Dnepr basin, the groundwater flow may reduce by 6 % in the future. It is suggested to obtain the same estimates in the Dnepr River basin in the west of the Moscow artesian basin in the neighborhood of Bryansk and Kursk where groundwater management is heavier.

**Keywords:** Moscow artesian basin, groundwater, resources, groundwater withdrawal, climate change.

**References**

1. Zektser I. S. Patterns and Research Methodology of Groundwater Flow Formation. Moscow : Nauka, 1977. 173 p.
2. Prodanov A. N., Tyulkin A. P., Zoteev O. V. Prospects of application of technologies of rock refuse paste thickening for coffin reclamation. *Tsvetnye Metally*. 2015. No. 12. pp. 13–18. DOI: 10.17580/tsm.2015.12.02
3. Lepikhin A. P., Perepelitsa D. I., Nechaeva S. V., Skopinov M. V. Hydrological aspects of estimation of consequences of subsidence of territories due to large-scale mining works. *Eurasian Mining*. 2013. No. 2. pp. 46–48.
4. Kurilenko V. V., Khaykovich I. M. Mineral deposits development areas environmental pollution assessment technique. *Obogashchenie Rud*. 2015. No. 3. pp. 56–60. DOI: 10.17580/or.2015.03.10
5. Rossman N. R., Zlotnik V. A., Rowe C. M., Szilagyi J. Vadose zone lag time and potential 21st century climate change effects on spatially distributed groundwater recharge in the semi-arid Nebraska Sand Hills. *Journal of Hydrology*. 2014. Vol. 519. pp. 656–669.
6. Rossman N. R., Zlotnik V. A. Review: Regional groundwater flow modeling in heavily irrigated basins of selected states in the western United States. *Hydrogeology Journal*. 2013. Vol. 21, Iss. 6. pp. 1173–1192.

7. Barthel R., Banzhaf S. Groundwater and Surface Water Interaction at the Regional-scale – A Review with Focus on Regional Integrated Models. *Water Resources Management*. 2016. Vol. 30, Iss. 1. pp. 1–32.
8. Zektser I. S. (Ed.). *Underground Water of the World: Resources, Use, Prediction*. Moscow : Nauka, 2007. 438 p.
9. Cherepansky M. M. Regional Estimates of River Flow Reduction under Groundwater Withdrawal. Moscow : NIA-Priroda, 2006. 156 p.
10. Dzyuba A. V. Formalization of the teleconnection of the North Atlantic oscillation and temperature regime in the Atlantic-Eurasian subpolar zone. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2009. Vol. 34, No. 5. pp. 274–284.
11. Zektser I. S., Dzyuba A. V. Uncertainties in the Assessment of Climate Change Impacts on Groundwater. *Episodes*. 2015. Vol. 38, No. 1. pp. 49–53.
12. Dzyuba A. V., Loginov V. V. On the question of the reliability of estimates of climate driven changes in groundwater resources. *Water: chemistry and ecology*. 2017. No. 3. pp. 46–55.
13. Loginov V. F., Mikutsky V. S. Climate Change: Trends, Circles and Pauses. Minsk : Belaruskaya navuka, 2017. 179 p.
14. Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M. M. B., Allen S. K. et al. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge : Cambridge University Press, 2013. 1552 p.
15. Phillips A. S., Deser C., Fasullo J. Evaluating Modes of Variability in Climate Models. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 2014. Vol. 95, No. 49. pp. 453–455.
16. Cherepansky M. M. Theoretical Framework for Hydrogeological Prediction of Groundwater Withdrawal Impact on River Flow. Moscow : NIA-Priroda, 2005. 260 p.
17. Water Management and Preservation Plan of the Russian Dnepr River Section. Available at: <http://www.m-obv.ru/activity/proekty> (accessed: 19.04.2018).
18. Danilov-Danilyan V. I. (Ed.). *Rivers and Lakes of the World: Encyclopedia*. Moscow : Izdatelstvo «Entsiklopediya», 2012. 928 p.
19. Stepkina N. V. *Information Bulletin on the Smolensk Region Interior in 2014*. Smolensk, 2015. Iss. 20. 150 p.
20. Yazvin L. S., Shestopalov V. M., Cherepansky M. M. (Eds.). *Current Status of Drinking Groundwater Sources in the Dnepr River Basin*. Minsk : Belsens, 2004. 87 p.
21. Zverev V. P. *Water in the Earth*. Moscow : Nauchnyi mir, 2009. 252 p.

УДК 550.837

## МЕТОДЫ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ИНТЕРПРЕТАЦИИ 2D/3D-ДААННЫХ ГЕОЭЛЕКТРИКИ\*

**Е. А. ОБОРНЕВ**<sup>1</sup>, зав. кафедрой, канд. физ.-мат. наук, [ObornevEA@mail.ru](mailto:ObornevEA@mail.ru)  
**М. И. ШИМЕЛЕВИЧ**<sup>1</sup>, зав. лабораторией, канд. физ.-мат. наук  
**И. Е. ОБОРНЕВ**<sup>2</sup>, старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук  
**А. А. НИКИТИН**<sup>1</sup>, проф., д-р физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

### Введение

В настоящее время в практике интерпретации данных магнитотеллурических зондирований (МТЗ) по-прежнему широко применяется одномерная (1D), ставшая классической модель Тихонова – Каньяра, но для большинства реальных геофизических объектов поиска месторождений полезных ископаемых актуальным становится использование в интерпретации двумерных (2D) и трехмерных (3D) физико-геологических моделей.

Представлен аппроксимационный метод интерпретации данных геоэлектрики (обратная задача геофизики) с помощью нейросетевого аппроксиматора (НС-палетки).

**Ключевые слова:** геоэлектрика, обратная задача, искусственный интеллект, нейронные сети, аппроксимация, НС-палетка.

**DOI:** 10.17580/gzh.2018.11.05

Традиционные методы решения обратной задачи МТЗ основаны на минимизации регуляризованного функционала невязки. Слабые стороны традиционного подхода при решении многомерной обратной задачи, такие как зависимость решения от первого приближения, сильная неустойчивость и многоэкстремальность процесса минимизации, ограничение на размерность среды, отмечают многие исследователи, например [1].

Альтернативный нейросетевой (НС) подход основан на возможности решения обратной задачи с помощью заранее расчи-

\*Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН). Исследование осуществлено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-11-00579).