МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методы экологических исследований / Methods of environmental studies
Оригинальная статья / Original article
УДК 556 (470.45) : 550.837.76
DOI: 10.18470/1992-1098-2017-3-106-114

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГРУНТОВЫХ ВОД РЕЧНЫХ ПОЙМ

Денис А. Солодовников, Наталья М. Хаванская, Николай В. Вишняков*, Елена А. Иванцова
Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия, vishnyakov@volsu.ru

Резюме. ***Цель.*** Запас грунтовых вод пойм, формирующихся в период весеннего половодья, имеет большое значение для устойчивого развития аридных регионов. Благодаря им поддерживается функционирование экосистем и осуществляется обеспечение населения пресной водой. Мониторинг и управление грунтовыми водами, является важной хозяйственной задачей. Авторами разрабатывается методика прогнозирования грунтовых вод для условий пойм рек аридной зоны юга России. Предлагаемая методика позволяет минимизировать трудозатраты, повысить точность результатов исследования. ***Методы.*** Методика исследования охватывает три этапа. На первом применяются методы геодезического профилирования на ключевых участках, обладающих характерным набором условий исследуемой территории. Второй этап – определение уровня зеркала грунтовых вод геофизическим методом с помощью георадара. Третий этап – анализ и интерпретация данных результатов измерений, построение моделей распространения и динамики грунтовых вод в среде ArcGis. ***Результаты.*** Предварительные данные, полученные при профилировании участка речной поймы георадаром, содержат более объективные сведения о глубине расположения зеркала грунтовых вод, чем данные скважинного бурения. Результаты непрерывного георадиолокационного профилирования совмещаются с гипсометрическим профилем местности, что позволяет построить модель динамики грунтовых вод. ***Выводы.*** Исследования, проведенные в северной части Волго-Ахтубинской поймы в 2016-2017 гг. с использованием предлагаемых методов показали их надежность и высокую информативность. Интерпретация и обработка данных посредством геоинформационных систем позволяет построить модель динамики грунтовых вод по сезонам года. Предлагаемая методика может быть апробирована для дельт рек Донского бассейна.
Ключевые слова: грунтовые воды**,** пойма, аридная зона, геодезическое профилирование, геофизические методы, георадиолокация, зеркало грунтовых вод, геоинформационные технологии.

Формат цитирования: Солодовников Д.А., Хаванская Н.М., Вишняков Н.В., Иванцова Е.А. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм // Юг России: экология, развитие. 2017. Т.12, N3. С.106-114. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-3-106-114

METHODICAL BASIS OF GEOPHYSICAL MONITORING OF GROUND WATER RIVER FLOODLAND

Denis A. Solodovnikov, Natalya M. Khavanskaya, Nikolai V. Vishnyakov*, Elena A. Ivantsova
Volgograd State University, Russia, vishnyakov@volsu.ru

Abstract. ***Aim.*** Ground water reserves in the floodplains that form during the spring flood is of great importance for the sustainable development of arid regions. They support the ecosystems and provide the population with fresh water. Monitoring and management of ground water is an important economic task. The authors develop a methodology for predicting ground water for the conditions of floodplains of the rivers in the arid zone of the South Russia. The proposed methodology allows you to minimize labor costs, improve the accuracy of research results**.** ***Methods.*** The methodology of the study covers three stages. On the first, geodetic profiling methods are applied to key areas that have a characteristic conditions for the study area. The second stage is the determination of the ground water table level by a geophysical method with the help of a georadiolocation. The third stage is the analysis and interpretation of the measured data, the construction of models for the distribution and dynamics of ground water in the ArcGis. ***Results.*** Preliminary data obtained from the georadiolocation profiling of the river floodplain contain more objective information on the depth of the ground water table than the data of the drilling. The results of continuous georadiolocation profiling when combined with the hypsometrical profile make it possible to construct a model of ground water dynamics by the seasons of the year. ***Main conclusions.*** Previous studies in the Volga-Akhtuba floodplain, using the proposed methods, showed their reliability and high information value. Interpretation and data processing through geoinformation systems allows to build a model of ground water dynamics by seasons of the year. The proposed method can be tested for river deltas of the Don basin.
Keywords: ground water, floodland, arid zone, geodetic profiling**,** geophysical exploration methods**,** geophysical methods, georadiolocation, ground water table, geoinformation technology.

For citation: Solodovnikov D.A., Khavanskaya N.M., Vishnyakov N.V., Ivantsova E.A. Methodical basis of geophysical monitoring of ground water river floodland. *South of Russia: ecology, development.* 2017, vol. 12, no. 3, pp. 106-114. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2017-3-106-114

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что решающим фактором функционирования экосистем речных пойм является половодье. Условия затопления определяют само существование природного комплекса поймы. Очень существенным аспектом половодья является пополнение запасов грунтовых вод [1], особенно в условиях регулирования стока [2]. В аридной зоне грунтовые воды предопределяют условия развития древесной растительности, и соответственно, лесопригодность территории [3], водообеспеченность орошаемых земель [4]. Важным социальным аспектом проблемы является возможность водоснабжения населенных пунктов [5]. Сельские населенные пункты, расположенные в поймах рек аридной зоны, для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения обычно используют колодцы и неглубокие скважины. В маловодные годы к концу лета - началу осени уровень грунтовых вод может понизиться настолько, что большинство этих источников перестает функционировать и администрациям поселений приходится прибегать к завозу питьевой воды автоцистернами. Такое наблюдалось, например, в аномально маловодные 2006 и 2015 годы в десятках населенных пунктов северной части Волго-Ахтубинской поймы. Тесно связаны с динамикой уровней солевой состав грунтовых вод [6], особенности окислительно-восстановительного режима почв. Наконец, запасы грунтовых вод определяют условия подземного (родникового) питания поверхностных водое-

мов в меженный период [7]. Все вышесказанное позволяет считать грунтовые воды речных пойм аридной зоны важнейшим природным ресурсом, а оперативное управление этими ресурсами, мониторинг и прогнозирование состояния грунтовых вод – актуальной хозяйственной задачей.

Традиционно динамика грунтовых вод изучается методом бурения и наблюдением за уровнем в скважинах [8; 9]. Этот метод весьма затратен, трудоемок и всегда дает точечные результаты, которые экстраполируются на окружающие территории.

В настоящее время все большее распространение получают геофизические методы изучения недр [10-13], в частности, георадиолокация. Георадары – это современные геофизические приборы, предназначенные для обнаружения различных объектов в разнообразных средах. Метод георадиолокационного подповерхностного зондирования (георадиолокации) основан на изучении закономерностей распространения электромагнитных волн в среде.

Сущность метода заключается в излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства. Такими границами в исследуемых средах являются, например, граница сухих и водонасыщенных грунтов (зеркало грунтовых вод), контакты между слоями различных горных пород, между породой и техногенными объектами, между мерзлыми и талыми грунтами, между коренными породами и наносами [14].

Основная диэлектрическая особенность грунтов – диэлектрическая проницаемость. При изучении диэлектрических свойств грунтов пользуются безразмерной величиной относительной диэлектрической проницаемости, которая показывает, во сколько раз электрическая сила, действующая на любой заряд в данной среде, меньше, чем в вакууме [15].

Наименьшие значения диэлектрической проницаемости характерны для сухих пористых пород, с увеличением пористости грунтов проницаемость снижается. Поскольку диэлектрическая постоянная у воды выше, чем у породообразующих минералов и газов, то увеличение влажности грунтов приводит к увеличению их диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость зависит от температуры грунтов: с повышением температуры она уменьшается у воды и влажных пород и возрастает у сухих [16].

Для диэлектрической проницаемости воды характерны необычные для жидкости особенности. Во-первых, она аномально велика. Большая величина статической диэлектрической проницаемости воды $\varepsilon = 81$ связана с тем, что вода - сильно полярная жидкость. Каждая молекула обладает значительным дипольным моментом. В отсутствие электрического поля диполи ориентированы случайным образом, их суммарное электрическое поле равно нулю. Если воду поместить в электрическое поле, то диполи начнут переориентироваться так, чтобы ослабить приложенное поле. Это явление наблюдается и в любой другой полярной жидкости, но вода благодаря большому значению дипольного момента молекул H_2O способна очень сильно (в 80 раз) ослабить внешнее поле [17].

Результатом георадиолокационной съемки являются временные разрезы (радарограммы), на которых по горизонтали указано расстояние в метрах, а по вертикали - напряженность электрического поля в зависимости от времени и положения установки на профиле [18; 19]. Задачей обработки и интерпретации радарограмм является выделение и прослеживание осей синфазности отраженных волн от различных границ раздела (отражающих границ или горизонтов) волн и их сопоставление с гидрогеологическими особенностями разреза. Признаки, по которым объект распознается на радарограммах в процессе обработки, могут служить различные характеристики волнового поля.

Георадары, пригодные для определения положения зеркала грунтовых вод, мобильны и могут обслуживаться одним оператором (рис. 1).

Рис. 1. **Профилирование участка речной поймы георадаром ОКО-2**
Fig. 1. **Profiling of the river floodplain site by the georadar OKO-2**

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторами разрабатывается современная методика организации мониторинга и прогнозирования грунтовых вод для условий небольших рек Нижнего Поволжья и северной части Волго-Ахтубинской поймы. Без существенных модификаций она может быть применена для пойм и дельт рек Донского бассейна, Кубани, Терека.

Комплекс работ включает:

1. Выбор ключевых участков исследования, геодезическое профилирование этих участков, увязка с уровнем поверхностных вод.

Выбираются участки с характерными условиями, данные с которых можно экстраполировать на аналогичные территории. Благодаря высокой производительности метода, закладываемые линии профилей могут быть достаточно протяженными. Наша практика показывает, что даже для очень обширных территорий северной части Волго-Ахтубинской поймы (ширина ее в районе Волгограда достигает 35 км) вполне достаточны профили длиной 0,5-1 км. Заложенные на типичных участках, они позволяют вполне определенно охарактеризовать существенные особенности положения зеркала грунтовых вод. Более длинные профили увеличивают трудоемкость работ, почти ничего не добавляя к полноте получаемых данных. Рационально закладывать профили, целиком пересекающие отдельные сегменты пойм, причлененные к коренным берегам долины, острова, участки между пойменными протоками с контрастным рельефом и почвенно-растительным покровом, отдельные обвалованные участки.

2. Определение глубины залегания зеркала грунтовых вод геофизическими методами в разные периоды года.

В отличие от дискретных данных гидрогеологических скважин, георадиолокация позволяет получить непрерывный профиль с четким определением глубины грунтовых вод в любой точке. Это позволяет дать объективную картину распределения глубин залегания грунтовых вод. Совмещая полученные в разное время года данные с гипсометрическим профилем,

мы получаем картину изменения уровня грунтовых вод по профилю. Очевидно, что в течение года имеется некоторое наиболее низкое положение этого уровня, и напротив, максимум, связанный с пиком весеннего половодья. Графически динамика грунтовых вод отражается как изменение площади заштрихованной фигуры на рисунке 2. По аналогии с изменением объемов водохранилищ, эту фигуру можно назвать призмой сработки. Такой подход позволяет формализовать результаты наблюдений, использовать различные математические инструменты их обработки и получать объективные численные значения.

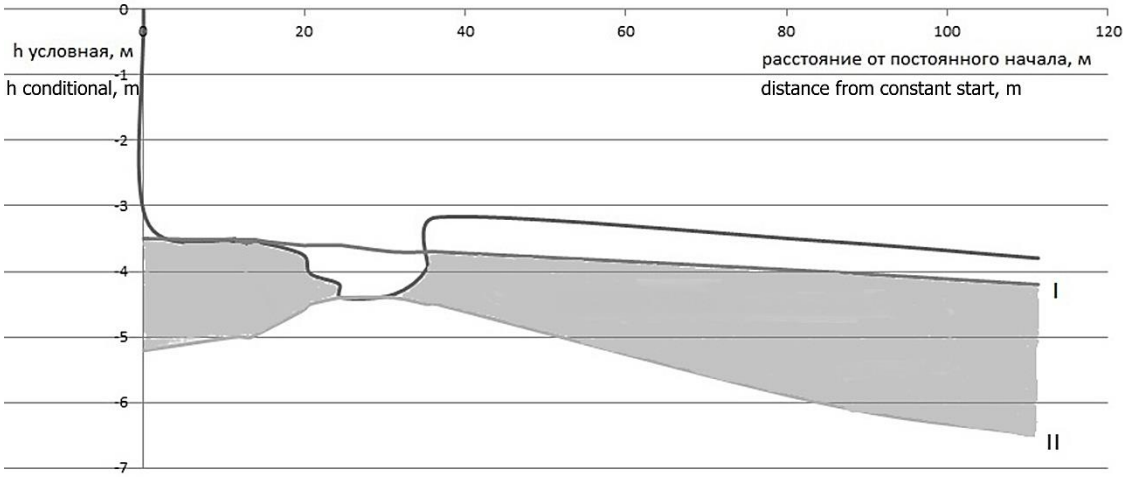

Рис. 2. **Совмещенный профиль рельефа положения зеркала грунтовых вод. I, II – положение зеркала грунтовых вод в разные сезоны года.**
Fig. 2**. Combined profile of the topography of the ground water table. I, II – Position of the ground water table in different seasons of the year.**

Геофизические методы мониторинга могут быть дополнены контрольными наблюдениями уровня в колодцах, в том числе и путем установки гидрологических самописцев-логгеров типа Solinist, а также мониторингом уровня поверхностных вод в основных реках и небольших пойменных водоемах. Эти методы хорошо разработаны применительно к водоемам Волго-Ахтубинской поймы [20].

3. Картографирование результатов и расчет объемов и расходов грунтовых вод по сезонам, построение 3D-моделей динамики грунтовых вод.

Современные геоинформационные технологии позволяют дать еще более развернутую картину годовых изменений положения грунтовых вод. Поскольку геофизические профили привязаны к системе географических координат, положение каждой точки поверхности грунтовых вод в любой период наблюдений также имеет четкие трехмерные координаты (широту, долготу и высоту). Обработка больших массивов таких данных возможна средствами классических ГИС (например, ArcGIS) или программного комплекса AutoCAD Civil 3D.

Накапливаемая в результате геофизического профилирования информация поступает в ГИС, где будет происходить ее обработка, анализ и визуализация. Технически, выполняется перевод данных съемки уровней грунтовых вод в формат растровых поверхностей за определенные сезонные периоды. Инструменты ArcGis (модуль Spatial Analyst/3D Analyst) дают возможность выполнять расчеты объемов и площадей пространственных объектов с учетом их высотных отметок, выполнять операции их сложения и вычитания, выявлять районы заполнения и потери, оценивать скорости этих процессов и т.п. Призма сработки грунтовых вод в этом случае

представляет собой сложную трехмерную фигуру, отображаемую программными средствами ГИС. Процедуру обработки и интерпретации данных вышеуказанными инструментами можно охарактеризовать как процесс мониторинга изменений объема призмы сработки грунтовых вод. Все этапы расчетов и результаты сопровождаются их визуализацией в виде соответствующих картографических материалов – карт, профилей и разрезов, анимационных моделей, сводных отчетов и т.п. Программная среда ГИС позволяет сопоставлять гидрогеологические данные с цифровыми моделями рельефа, картами почв, лесов и прочими специальными картами.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показал годовой цикл наблюдений за динамикой уровня грунтовых вод в северной части Волго-Ахтубинской поймы в 2016-2017 гг., показали, что наиболее низкий уровень грунтовых вод в пойме – довольно постоянная величина. Он слабо зависит от условий обводнения поймы в период половодья. Для Волго-Ахтубинской поймы характерны существенные различия в обводнении территории в период половодья по годам. Половодье 2015 года было аномально низким и кратковременным, это был самый маловодный разлив за весь период регулярных инструментальных наблюдений. Специальный весенний попуск через плотину Волжской ГЭС составил 65,5 км^3. Это вызвало катастрофическое пересыхание многих озер. А половодье 2016 года, напротив, оказалось самым многоводным за последние 10 лет. Оно продолжалось около 2 месяцев, причем пиковые расходы 26000 м^3/с наблюдались в течение 26 дней, с 22 апреля по 16 мая. Специальный весенний попуск составил 125,1 км^3. Несмотря на такую значительную разницу в обводнении, уровень грунтовых вод в начале апреля 2016 г. (предполоводный период, после слабого половодья 2015 г.) оказался почти идентичен уровню начала апреля 2017 года (после мощного половодья 2016 г.).

Предполоводный уровень грунтовых вод связан с меженным уровнем воды в поверхностных водоемах, а меженный уровень, в отличие от половодья, слабо меняется год от года. Таким образом, наиболее низкий уровень грунтовых вод (уровень II на рис. 2) в многолетнем разрезе представляет почти постоянную величину. Варьируют в течение года положения уровня I. Таким образом, нижняя поверхность анализируемой трехмерной фигуры постоянна, что упрощает обработку и анализ результатов. Описываемая фигура с изменчивой верхней и постоянной нижней границами (призма сработки грунтовых вод) в этом случае и является ресурсом грунтовых вод, используемым в хозяйстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика грунтовых вод речных пойм – важнейший фактор их существования. Для рек аридных регионов он имеет первостепенное значение, определяя как развитие экосистем, так и хозяйственную деятельность человека.

Разработанный авторами алгоритм мониторинга грунтовых вод речных пойм позволяет оперативно оценивать ресурсы, давать их точную количественную оценку и прогнозировать гидрогеологическую обстановку средствами геоинформатики. Результатом годовых наблюдений за уровнем грунтовых вод станет модель динамики грунтовых вод Волго-Ахтубинской поймы (и дельты Волги) в связи с условиями весеннего затопления. Уточнение особенностей ритмики грунтовых вод Волго-Ахтубинской поймы позволит дать рекомендации по совершенствованию весеннего попуска для затопления поймы и дельты Волги.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Волгоградской области (проект № 16-45-340801) и базовой части государственного задания Минобрнауки РФ (проект № 40.7534.2017/БЧ).

Acknowledgment: The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Administration of the Volgograd Region (project No. 16-45-340801) and the basic part of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project N. 40.7534.2017 / БЧ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Павлов А.Н. Общая гидрогеология. Л.: «Недра», 1988. 359 с.
2. Окарева А.А., Кутлусурина Г.В. Особенности воздействия регулирования волжского стока на почвы и грунтовые воды Астраханской области // Международная научная конференция научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета, посвящённая 85-летию со дня основания вуза. Астрахань, 2015. С. 48–49.
3. Шульга В.Д. Устойчивость мелиоративных древостоев степных ландшафтов: методология и практика адаптации. Волгоград: Издательство ВНИАЛМИ, 2002. 158 с.
4. Жапаркулова Е.Д., Анзельм К.А., Бекбаев Н.Р., Құрмашев К.С. Грунтовые воды и их влияние на водообеспеченность орошаемых земель //. Материалы международной научно-практической конференции «Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения». Москва, 2016. С. 222–225.
5. Ковалевский В.С. Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. М.: «Недра», 1973. 152 с.
6. Шеппель П.А. Паводок и пойма. Волгоград: Нижневолжское книжное издательство, 1986. 240 с.
7. Горяйнов В.В., Филиппов О.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В. Экологическая безопасность природно-хозяйственных систем Волго-Ахтубинской поймы: структура и организация мониторинга водного режима. Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2007. 112 с.
8. Коноплянцев А.А., Семенов С.М. Прогноз и картирование режима грунтовых вод. М.: «Недра», 1974. 216 с.
9. Джуматаев Т.А., Гонтарь М.И., Переверзев Ю.С. Опыт проведения комплекса инженерно-геофизических исследований на месторождении подземных вод Кокжиде (Казахстан) // Инженерные изыскания. 2015. N1. С. 58–63.
10. Шварцман Ю.Г., Игловский С.А., Горшков Д.П. Выявление гидрогеологических особенностей гидротермального урочища Пымвашор (Гряда Чернышева) методом георадиолокации // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2013. N3(15). С. 81–86.
11. Романов В.В., Рахматуллин И.И., Грохольская С.А. Геофизические методы изучения глинистых грунтов верхней части разреза для решения задач недропользования // Рациональное освоение недр. 2015. N2. С. 46–50.
12. Кулижников А.М. Оценка состояния грунтов георадиолокационными методами // Дороги и мосты. 2017. N36. 7 с.
13. Грохольская С.А., Романов В.В. Инженерно-геофизические изыскания при картировании гидрогеологических условий Имеретинской низменности // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. N4. С. 84–88.
14. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Москва: Изд. МГУ, 2004. 153 с.
15. Капустин В.В., Синицын А.В. Применение способов автоматизированного определения диэлектрической проницаемости среды при решении прикладных задач георадиолокации // Геофизика. 2014. N6. С. 39–45.
16. Van Dam R.L. Calibration functions for estimating soil moisture from GPR dielectric constant measurements // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2014. Vol. 45. N3. P. 392–413.
17. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2008. 192 с.
18. Marchenko A.L., Sudakova M.S. Software for automatically detection the em wave velocity of GPR data and generating synthetic GPR profiles // Near Surface Geoscience 2015 - 21st European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics 21, Turin, 6-10 September, 2015. P. 69–73.
19. Sen M.K., Stoffa P.L., Seifoullaev R.K., Fokkema Ja.T. Numerical and field investigations of GPR: toward an airborne GPR // Subsurface Sensing Technologies and Applications. 2003. Vol. 4. N1. P. 41–60.
20. Филиппов О.В., Солодовников Д.А., Золотарев Д.В., Канищев С.Н. Опыт восстановления деградированных ландшафтов и водных объектов Волго-Ахтубинской поймы: гидрологический аспект // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 11. Естественные науки. 2012, N2. С. 34–43.

REFERENCES

1. Kiryukhin V.A., Korotkov A.I., Pavlov A.N. *Obshchaya gidrogeologiya* [General hydrogeology]. Leningrad, Nedra Publ., 1988, 359 p.
2. Okareva A.A., Kutlusurina G.V. Osobennosti vozdeistviya regulirovaniya volzhskogo stoka na pochvy i gruntovye vody Astrakhanskoi oblasti [Specific features of the influence of regulation of the Volga runoff on soils and groundwater in the Astrakhan region]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, posvyashchennaya 85-letiyu so dnya osnovaniya vuza, Astrakhan', 2015* [Proceedings of International scientific Conference of scientific and pedagogical workers of the Astrakhan State Technical University, dedicated to the 85th anniversary of the founding of the university, Astrakhan, 2015]. Astrakhan, 2015, pp. 48–49. (In Russian)
3. Shul'ga V.D. *Ustoichivost' meliorativnykh drevostoev stepnykh landshaftov: metodologiya i praktika adaptatsii* [Stability of ameliorative stands of steppe landscapes: methodology and practice of adaptation]. Volgograd, VNIALMI Publ., 2000, 158 p.
4. Zhaparkulova E.D., Anzel'm K.A., Bekbaev N.R., Kurmashev K.S. Gruntovye vody i ikh vliyanie na vodoobespechennost' oroshaemykh zemel' [Groundwater and its impact on water availability of irrigated lands]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo: problemy i puti resheniya», Moscow, 2016* [Proceedings of International scientific-practical Conference “Melioration and water management: problems and solutions”, Moscow, 2016]. Moscow, 2016, pp. 222–225. (In Russian)
5. Kovalevskii V.S. *Usloviya formirovaniya i prognozy estestvennogo rezhima podzemnykh vod* [Formation conditions and forecasts of natural groundwater regime]. Moscow, Nedra Publ., 1973, 152 p.
6. Sheppel' P.A. *Pavodok i poima* [Flood and floodplain]. Volgograd, Nizhnevolzhsky Book Publ., 1986, 240 p.
7. Goryainov V.V., Filippov O.V., Plyakin A.V., Zolotarev D.V. *Ekologicheskaya bezopasnost' prirodno-khozyaistvennykh sistem Volgo-Akhtubinskoi poimy: struktura i organizatsiya monitoringa vodnogo rezhima* [Ecological safety of natural-economic systems of the Volga-Akhtuba floodplain: structure and organization of monitoring of the water regime]. Volgograd, Volgograd scientific Publ., 2007, 112 p.
8. Konoplyantsev A.A., Semenov S.M. *Prognoz i kartirovanie rezhima gruntovykh vod* [Forecast and mapping of groundwater regime]. Moscow, Nedra Publ., 1974, 216 p.
9. Jumatayev T.A., Gontar M.I., Pereverzev Yu.S. Experience of integrated engineering-geophysical investigations at the undergroundwater deposit of Kokzhide (Kazakhstan). Inzhenernye izyskaniya [Engineering surveys]. 2015, no.1, pp. 58–63. (In Russian)
10. Shvartsman Yu.G., Iglovsky S.A., Gorshkov D.P. Revealing of hydrogeological particularities of Pymvashor hydrothermal spring (Chernyshev ridge) by GPR. Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN [Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences]. 2013, no. 3 (15), pp. 81–86. (In Russian)
11. Romanov V.V., Rahmatullin I.I., Grokholsky S.A. Studying clay soils of the upper part of the geological section by geophysical methods for subsurface resources management. Ratsional'noe osvoenie nedr [Ratsionalnoe osvoenie nedr]. 2015, no. 2, pp. 46–50. (In Russian)
12. Kulizhnikov A.M. Estimation of ground state by georadar location methods. Dorogi i mosty [Roads and bridges]. 2017, no. 36. p. 7. (In Russian)
13. Grokholskaya S.A., Romanov V.V. Engineering geophysical research for mapping of hydrogeological conditions of Imereti lowland. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka. [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration]. 2016, no. 4, pp. 84–88. (In Russian)
14. Vladov M.L., Starovoitov A.V. *Vvedenie v georadiolokatsiyu* [Introduction to Georadiolocation]. Moscow, MGU Publ., 2004, 153 p.
15. Kapustin V.V., Sinitcin A.V. Application of method automated determination dielectricpermeability at the solution of applied problems GPR. Geofizika [Russian Geophysics]. 2014, no. 6, pp. 39–45. (In Russian)
16. Van Dam R.L. Calibration functions for estimating soil moisture from GPR dielectric constant measurements. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2014, Vol. 45, no. 3, pp. 392–413.
17. Starovoitov A.V. *Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh* [Interpretation of georadar tracking data]. Moscow, MGU Publ., 2008, 192 p.
18. Marchenko A.L., Sudakova M.S. Software for automatically detection the em wave velocity of GPR data and generating synthetic GPR profiles. Near Surface Geoscience 2015 - 21st European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics 21, Turin, 6-10 September, 2015. pp. 69–73.
19. Sen M.K., Stoffa P.L., Seifoullaev R.K., Fokkema Ja.T. Numerical and field investigations of GPR: toward an airborne GPR. Subsurface Sensing Technologies and Applications. 2003, Vol. 4, no. 1, pp. 41–60.
20. Filippov O.V., Solodovnikov D.A., Zolotaryov D.V., Kanischev S.N. The experience of degraded landscapes and water bodies restoration in the Volga-Akhtuba floodplain: the hydrological aspect. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija

11. Estestvennye nauki [Science Journal of Volgograd State University. Natural sciences]. 2012, no. 2, pp. 34–43. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Денис А. Солодовников – к.г.н., доцент кафедры географии и картографии Волгоградского государственного университета, г. Волгоград, Россия.

Наталья М. Хаванская – к.г.н., доцент кафедры географии и картографии Волгоградского государственного университета, г. Волгоград, Россия.

Николай В. Вишняков* – старший преподаватель кафедры географии и картографии Волгоградского государственного университета, тел. +(8442) 46-16-39, пр-т Университетский, 100, г. Волгоград, 400062 Россия, e-mail: vishnyakov@volsu.ru

Елена А. Иванцова – д.с.-х.н., профессор кафедры экологии и природопользования Волгоградского государственного университета, г. Волгоград, Россия.

Критерии авторства

Денис А. Солодовников проводил полевые исследования, георадарное профилирование, обработку и анализ полученных измерений, написал рукопись, несет ответственность за плагиат; Наталья М. Хаванская участвовала в разработке научного дизайна статьи, ее структуры и оформления; Николай В. Вишняков участвовал в проведении полевых исследований при работе с георадаром, его синхронизации с программным обеспечением; Елена А. Иванцова проводила корректировку рукописи до поступления в редакцию.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.04.2017
Принята в печать 20.06.2017

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Denis A. Solodovnikov – Candidate of Geographic Sciences, Associate Professor at the Department of Geography and Cartography, Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Volgograd, Russia

Natalya M. Khavanskaya – Candidate of Geographic Sciences, Associate Professor at the Department of Geography and Cartography, Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Volgograd, Russia

Nikolai V. Vishnyakov* – Senior Lecturer at the Department of Geography and Cartography, Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, тел. +(8442) 46-16-39, pr-t Universitetskij, 100, Volgograd, 400062 Russia, e-mail: vishnyakov@volsu.ru

Elena A. Ivantsova – Doctor of Sciences, Professor at the Department of Ecology and nature management, Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Volgograd, Russia.

Contribution

Denis A. Solodovnikov conducted field research, georadar profiling, processing and analysis of acquired measurements, wrote a manuscript, is responsible for plagiarism; Natal'ja M. Havanskaja participated in the development of scientific design of the article, its structure and design; Nikolaj V. Vishnjakov participated in conducting field research when working with a georadar, its synchronization with software; Elena A. Ivancova carried out the correction of the manuscript before it was received by the editorial office.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 25.04.2017
Accepted for publication 20.06.2017