



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2019.2.7>

UDC 911.52

LBC 26.222

GROUNDWATER OF RIVER FLOODPLAINS – INTRA-ANNUAL DYNAMICS AND MATHEMATICAL MODELS

Denis A. Solodovnikov

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Stanislav S. Shinkarenko

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Nikolai V. Vishnyakov

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Natalya M. Khavanskaya

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The doctrine of natural geographical zoning is a traditional and well-developed field of physical geography. Zonal landscapes of the planet are perfectly classified and have clear diagnostic signs. The situation is different with intrazonal landscapes. The criteria for their differentiation are not so obvious. Despite the objective differences in the landscapes of floodplains of forest and steppe natural zones, the principles of their differentiation and classification have not yet been developed. The most important factor in the functioning of floodplain landscapes is the seasonal dynamics of groundwater. The annual series of observations allows to graphically display this dynamic in the form of combined transverse profiles of river floodplains, reflecting the relief, the level of surface waters and the changing position of the upper boundary of groundwater. Two-dimensional figures on the profiles are subjected to mathematical processing and allow to develop mathematical models of annual groundwater dynamics. Such models can serve as a basis for classification of intrazonal landscapes of river floodplains. The idea of the study is to try to give an objective picture of natural processes in the floodplains of rivers of the arid zone, based on accurate quantitative characteristics comparable to each other. For mathematical processing, we selected field experimental plots, allowing to obtain a representative profile of the relief and the position of the groundwater mirror during the year. Two-year observations of groundwater have provided a comprehensive picture of their dynamics and relationships to the surface water regime. The results of this work were reflected graphically in the form of profiles. At the next stage, with the help of the Verner Graphical Analysis program, adequate mathematical models describing the process were selected. Verification of models showed a high degree of their reliability. The next stage of the work should be the comparative characteristics of floodplains of rivers of different natural zones and regions, based on the proposed approach. In combination with other criteria (humus content in soils, species composition of tree and shrub vegetation), this will make it possible to differentiate the landscapes of river floodplains and develop schemes for zoning intrazonal landscapes.

Key words: groundwater level, floodplain, intrazonal landscape, arid zone, mathematical modeling.

УДК 911.52

ББК 26.222

ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ РЕЧНЫХ ПОЙМ – ГОДОВАЯ ДИНАМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Денис Анатольевич Солодовников

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Станислав Сергеевич Шинкаренко

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Николай Владимирович Вишняков

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Наталья Михайловна Хаванская

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Важнейшим фактором функционирования пойменных ландшафтов является сезонная динамика грунтовых вод. Годовая серия наблюдений позволяет графически отобразить эту динамику в виде совмещенных поперечных профилей речных пойм, отражающих рельеф, уровень поверхностных вод и меняющееся положение их верхней границы. Двухмерные фигуры на профилях подвергаются математической обработке и позволяют разработать математические модели годовой динамики грунтовых вод. Такие модели могут служить основой классификации интразональных ландшафтов речных пойм. Цель исследования состоит в попытке дать объективную картину природных процессов в поймах рек аридной зоны, основанную на точных количественных характеристиках, сравнимых между собой.

Ключевые слова: уровень грунтовых вод, пойма, интразональный ландшафт, аридная зона, математическое моделирование.

Введение. Учение о природной географической зональности – традиционная и хорошо разработанная область физической географии. Зональные ландшафты планеты прекрасно классифицированы и имеют четкие диагностические признаки. Иная ситуация складывается с интразональными ландшафтами. Даже сама постановка вопроса типологии, основанной на объективных количественных критериях таких ландшафтов, в научной литературе очень редка. Поймы крупных рек имеют протяженность тысячи километров, следствием этого является дифференциация их морфологической и ландшафтной структуры. Поэтому в данной работе в качестве объекта классификации рассмотрены ландшафты речных пойм, как самого распространенного типа интразональных ландшафтов.

Влияние зональных условий на особенности интразональных природных комплексов и компонентов считается общепринятым [3]. Хорошо разработано классическое трехчленное деление пойм по высотным уровням (высокая, средняя и низкая пойма), которое определяет условия затопления в половодье, а также деление пойм на прирусловую, центральную пологогривистую и притеррасную поймы [1].

Ключевым фактором функционирования речных пойм является периодическое затопление. В Европейской части России резкий

подъем уровня воды происходит один раз в году и связан с весенним таянием снега. В период весеннего половодья пойма реки полностью, а чаще – частично затопляется [2]. При частичном затоплении на участках, свободных от воды повышается уровень грунтовых вод (УГВ). При достаточно долгом половодье грунты речных пойм насыщаются водой и верхняя граница («зеркало») грунтовых вод соответствует уровню поверхностных вод [14]. После окончания половодья происходит постепенное снижение уровня грунтовых вод, их разгрузка в поверхностные водоемы. В этот период положение зеркала грунтовых вод зависит, в том числе, и от количества выпадающих осадков [5].

В гумидной зоне, при большом количестве осадков, уровень грунтовых вод в межень выше уровня вод поверхностных водоемов (русел рек, пойменных озер). Грунтовые воды движутся из массива поймы в сторону водоемов. В аридной зоне уровень грунтовых вод может опускаться ниже уровня воды рек и озер. В этом случае грунтовые воды не питают поверхностные водоемы, а, наоборот, поддерживают свой уровень за счет фильтрации из русел рек и озерных котловин. Формируется обратный уклон зеркала грунтовых вод, направленный от котловин водоемов вглубь поймы. Соответственно, на границе гумидной и аридной зон положение зеркала грунтовых

вод близко к горизонтальному и соответствует уровню воды поверхностных водоемов.

В каждом конкретном случае динамику грунтовых вод на любом створе речной поймы можно описать схемой: в течение года имеется минимальный уровень грунтовых вод и максимальный, связанный с пиком весеннего половодья. Графически динамика грунтовых вод отражается как изменение площади заштрихованной фигуры на рисунке 1.

По аналогии с изменением объемов водохранилищ, фигуру можно назвать призмой сработки грунтовых вод. Площадь сечения этой призмы может быть математически выражена как двойной интеграл функций, аппроксимирующих кривые максимального и минимального положения УГВ. Совмещение нескольких профилей УГВ для одного тестового участка и интерполяция в геоинформационной среде позволит получить поверхности грунтовых вод в период половодья и межени. Вычисление объема призмы сработки грунтовых вод возможно сделать путем вычитания этих поверхностей. Такой подход позволяет формализовать результаты наблюдений, использовать математические инструменты их обработки и получать объективные количественные значения [4]. Таким образом, основная цель работы – подбор математического инструментария для моделирования процесса годовой динамики грунтовых вод речных пойм.

Объект и методы исследований.

Объектом математического моделирования процесса динамики грунтовых вод был выбран участок в южной части Волго-Ахтубинской поймы (Харабалинский район Астраханской области, Россия). Ближайшие водоемы – река Ахтуба и протоки Церковный и Молочный, вытекающие из нее. Проток Церковный ограничивает обвалованный массив полей с юга, проток Молочный – с севера. Перечисленные водоемы, окружая участок наблюдений, участвуют в пополнении грунтовых вод в половодье и дренируют его в межень.

Волго-Ахтубинская пойма, местами достигающая 35 км, очень хорошо изучена в ландшафтном, гидрологическом и геоэкологическом отношении [8–10; 12; 17–19]. Вниз по течению Волги пойма простирается от города Волгограда на 350 км, в низовьях переходя в дельту Волги. Севернее Волгограда пойма Волги полностью затоплена при строительстве каскада гидроэлектростанций.

Мощность современного аллювия Волго-Ахтубинской поймы достигает более 30 м. Характерной чертой является преобладание в разрезе поймы русловой фации аллювия и незначительное развитие старичной и пойменной фаций. Возможно, это связано с расположением района в тектонически активной зоне и размывом пойменных фаций. Русловая фация аллювия – это среднезернистые пески с

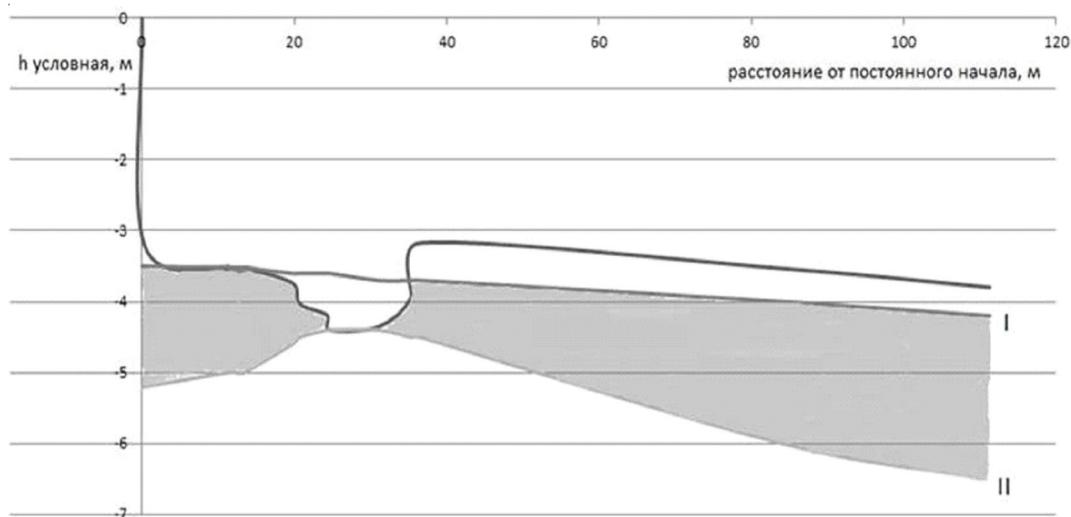


Рис. 1. Совмещенный профиль рельефа положения зеркала грунтовых вод

I – положение зеркала грунтовых вод в период половодья;
II – положение зеркала грунтовых вод в меженный период

высокими показателями коэффициента фильтрации. В связи с этим уровень грунтовых вод может достаточно быстро меняться при подъеме или снижении уровня поверхностных вод [11]. Мощность пойменной фации местами достигает 7–8 м, старичной фации – до 6 метров.

Основным методом полевых исследований было традиционное гидрогеологическое профилирование. На местности были заложены створы, пересекающие массив поймы перпендикулярно направлению русел основных потоков [6]. По линии каждого профиля были пробурены 1–2 контрольных скважины, необходимых для калибровки георадара и отбора проб грунтовых вод [24]. По линии профиля производилось комплексное описание растительности и почв [7]. Повторность наблюдений на тестовом участке проводилась с апреля 2017 по апрель 2019 года. Наблюдения велись в разные фазы гидрологического года, что позволило достаточно полно охарактеризовать динамику уровней грунтовых вод.

Отметки высот по линии профилей определялись геодезической GPS/ГЛОНАСС системой Sokkia GSR1700 CSX. Глубина залегания грунтовых вод определялась с помощью мобильного геофизического прибора – георадара ОКО-2 с антенным блоком 150/400 МГц. Сущность метода заключается в излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами (уровень грунтовых вод), контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между мерзлыми и талыми грунтами, между коренными и рыхлыми породами.

Георадар позволяет надежно определить положение зеркала грунтовых вод ввиду большой разницы показателя диэлектрической проницаемости свойств сухих и водонасыщенных грунтов. Глубина георадарного сканирования грунта составляет 12–15 м, что значительно превышает реальные глубины залегания грунтовых вод в речных поймах (не более 6–7 м).

Подобное профилирование позволяет также определять состав и стратиграфию грунтов по линии профиля. Профиль имеет протяженность 3,4 км и располагается с запада на восток, пересекая массив поймы от рукава Ахтуба до обширной луговой низины, затапливаемой в половодье. В 3 км севернее линии профиля находится хутор Гремучий. Профиль пересекает прирусловой вал высотой до 7,5 м над меженным уровнем воды и обширное пространство центральной поймы с отметками 4,5–4,8 м над меженным уровнем воды. Растительность в прирусловой зоне представлена сообществами из нескольких видов древесных ив (*Salix sp.*). Центральная пойма занята луговой злаковой растительностью.

По результатам полевых работ в программе Microsoft Excel строились гипсометрические профили исследованных створов, которые в дальнейшем совмещались с кривыми, отражающими глубину залегания грунтовых вод в разные периоды года. Полученные совмещенные графики и стали предметом математической обработки программными средствами Verner Graphical Analysis.

Для того, чтобы определить площадь вертикального сечения призмы сработки грунтовых вод, необходимо аппроксимировать кривые УГВ математическими функциями и определить площадь, ограниченную графиками этих функций. Площадь может быть определена интегралом вида:

$$\int_{x_1}^{x_2} (f(x) - g(x)) dx,$$

где $f(x)$ – кривая максимального УГВ, $g(x)$ – кривая минимального УГВ, x_1, x_2 – начало и конец профиля (участка профиля) соответственно.

Кроме определения площади сечения призмы грунтовых вод на основе формул можно проанализировать динамику УГВ, как пространственную вдоль профиля, так и временную на основе сравнения функций, описывающих положение грунтовых вод в течение года или нескольких лет. Также наличие функции позволяет более точно интерполировать промежуточные значения УГВ, полученные как на основе геофизических методов, так и натурных наблюдений за скважинам и колодцами. В условиях Волго-Ахтубинской поймы

кривые уровней грунтовых вод аппроксимируются сигмоидами:

$$УГВ = \frac{A}{1+B e^{c+dx}} + E,$$

где x – расстояние по линии профиля.

В программе Verner Graphical Analysis были подобраны значения коэффициентов этого уравнения по фактическим отметкам УГВ. Для тестового полигона коэффициенты уравнения представлены в таблице 1.

На рисунке 2 представлено сравнение фактических (маркеры) и расчетных данных о динамике УГВ по направлению профиля от уреза водотока вглубь поймы. Высокие значения коэффициентов детерминации R^2 свидетельствуют о достаточной точности аппроксимации кривых выбранными функциями. Аппроксимацией на основе правой части графика (дальше 500 м по линии профиля) можно получить функцию для определения значения УГВ левой части графика (до 500 м от начала профиля). Представленные на рисунке 2 графические данные показывают несоответ-

ствие: максимальный УГВ на 01.08.2018 выше, чем УГВ на 24.04.2018, соответствующее периоду начала половодья. Этот факт свидетельствует о том, что после 24.04.2018 УГВ продолжал подниматься из-за подъема воды в реке.

Несомненный интерес представляет кривая разницы максимальной и минимальной отметок УГВ по линии профиля (см. рис. 3). Максимальные колебания уровней грунтовых вод отмечаются на расстоянии до 200 м от уреза реки. Положение УГВ на 01.08.18 свидетельствует о более высоком стоянии грунтовых вод по сравнению с зафиксированными 24.04.18. С учетом этого амплитуда колебаний УГВ составляет около 6,5–7 м. Благодаря этому прибрежная полоса занята преимущественно ивняками, так как ясени и клен американский не приспособлены к большим колебаниям и высокому УГВ.

На рисунке 4 показана кривая, полученная аппроксимацией по значениям УГВ на 01.08.2018. На пике половодья подъем УГВ обеспечивается не только и не столько повышением уровня воды в водотоке, сколько про-

Таблица 1

Коэффициенты уравнения по фактическим отметкам УГВ

Коэффициент	Дата				
	26.04.2019	12.09.2018	01.08.2018	24.04.2018	28.04.2017
<i>A</i>	87,29	218	-186,9	-399	130,4
<i>B</i>	49,43	32,07	1657	8,858	0,048
<i>C</i>	-5,796	0,26	-33,95	-0,2247	-16,56
<i>D</i>	0,008	-0,015	0,063	-0,009	0,084
<i>E</i>	-447,1	-522,6	-179,3	53,32	-396,4
R^2	0,92	0,88	0,98	0,94	0,92

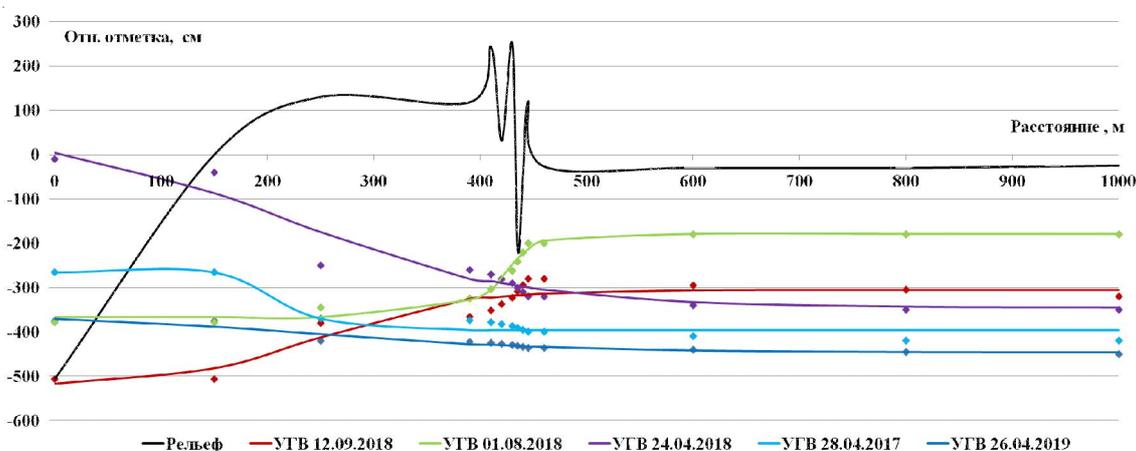


Рис. 2. Фактические (маркеры) и расчетные УГВ

должительностью максимальных расходов. В результате относительно небольшое увеличение уровня поверхностных вод привело к продолжительной фильтрации в грунтовые воды, что в условиях большой продолжитель-

ности половодья повлекло значительный подъем УГВ.

Площадь вертикального сечения призмы сработки грунтовых вод показана на рисунке 5.

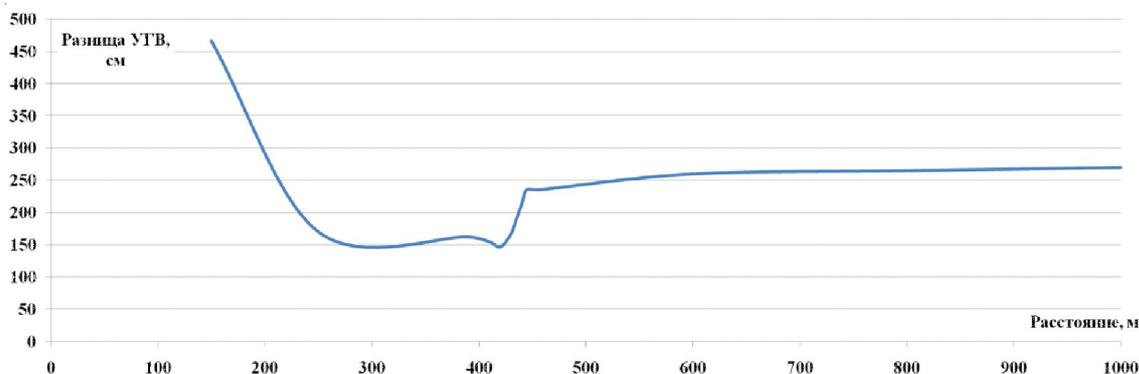


Рис. 3. Перепад максимальных и минимальных УГВ по линии профиля

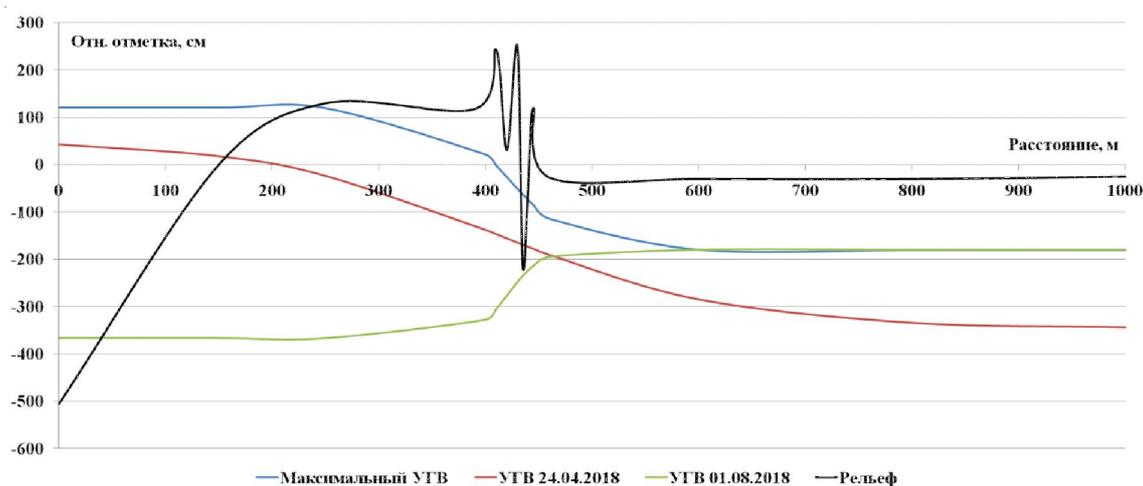


Рис. 4. Кривая УГВ, полученная на основе аппроксимации

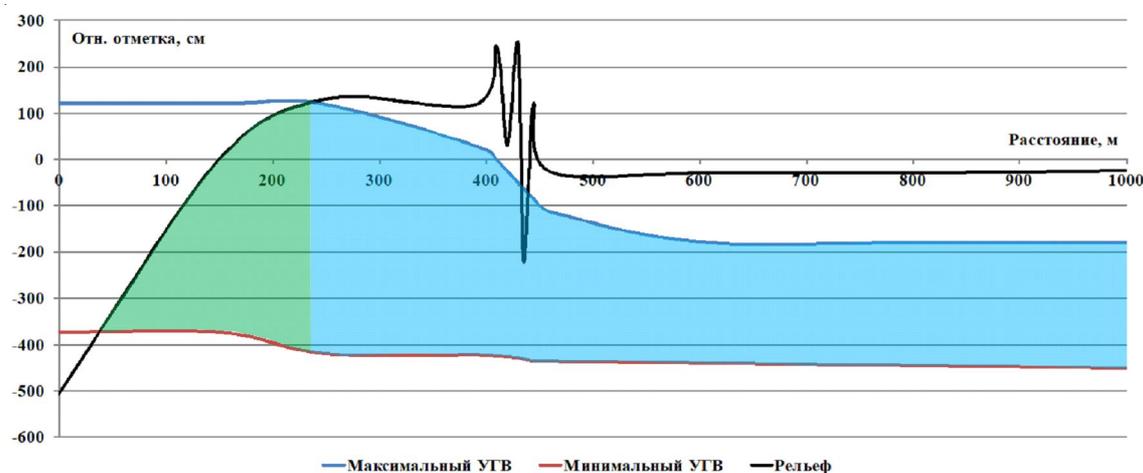


Рис. 5. Вертикальное сечение призмы сработки грунтовых вод

В зоне затопления поймы (до расстояния 230 м от начала профиля) площадь сечения будет определяться как интеграл разницы кривых рельефа и минимального УГВ (зеленая область), далее по профилю – разница между максимальным и минимальным уровнями грунтовых вод (голубая область).

Точки пересечения кривой рельефа с кривыми максимального и минимального уровней ГВ определяются на основе уравнений:

$$h(x) = f(x) \text{ и } h(x) = g(x),$$

где $h(x)$ – кривая рельефа, $f(x)$ – кривая максимального УГВ, $g(x)$ – кривая минимального УГВ.

Таким образом, математизация исследований предполагает в первую очередь получение математической модели исследуемого процесса, достаточно точно, адекватно описывающей его. Анализ математической модели изучаемого процесса позволяет решить поставленные задачи [13]. Разработанные в данном исследовании модели служат основой прогнозирования природных процессов [21; 25].

Результаты исследования. На первом этапе работы были подобраны полевые экспериментальные участки, позволяющие получить репрезентативный профиль рельефа и положение зеркала грунтовых вод в течение года. В соответствии с общепринятыми требованиями, на участках исключалось влияние антропогенных факторов увлажнения, в частности, орошение сельскохозяйственных культур [15; 20]. Двухлетние наблюдения за грунтовыми водами позволили получить исчерпывающую картину их динамики и связи с режимом поверхностных вод [22]. Результаты этой работы были отражены графически в виде профилей. На следующем этапе с помощью программы Verner Graphical Analysis были подобраны адекватные математические модели, описывающие динамику УГВ. Верификация моделей показала высокую степень их достоверности (коэффициент корреляции расчетных и фактических показателей составил 0,88–0,98). Для моделирования гидрогеологических процессов такая адекватность модели вполне достаточна [16]. Важным результатом работы стала возможность дифференциации фигуры призмы сработки на 2 зоны – прибрежную и внутреннюю поймы (рис. 5), что

даёт возможность более детального анализа фигур призмы сработки.

Заключение. Найденные в результате моделирования количественные характеристики УГВ могут служить основой для дифференциации ландшафтов речных пойм. Такой подход близок к использованию количественных методов кладизма в биологической систематике [23]. На наш взгляд, этот подход может найти применение при разработке типологии интразональных ландшафтов. Следующим этапом работы должна стать сравнительная характеристика пойм рек разных природных зон и регионов, основанная на предложенном подходе. В сочетании с другими критериями (например, содержание гумуса в почвах, видовой состав древесной и кустарниковой растительности) это даст возможность дифференцировать ландшафты речных пойм и разработать схемы районирования интразональных ландшафтов.

ПРИМЕЧАНИЕ

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-45-340006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишняков, Н. В. Современное состояние, гидрологическая характеристика и пути оптимизации использования водных объектов бассейна реки Большая Голубая / Н. В. Вишняков, С. Н. Канищев, Д. А. Солодовников // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2015. – № 4. – С. 268–277. – DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2015.4.27>.
2. Влияние первичных и вторичных экологических факторов на динамику почвенно-растительного покрова долгопойменных территорий интразональных дельтовых ландшафтов реки Волги / М. В. Валов, А. Н. Бармин, А. Ю. Колотухин, Е. А. Бармина // Геология, география и глобальная энергия. – 2017. – № 2 (65). – С. 93–104.
3. Водно-экологические проблемы Волго-Ахтубинской поймы / М. В. Болгов, К. Ю. Шаталова, О. В. Горелиц, И. В. Землянов // Экосистемы: экология и динамика. – 2017. – Т. 1, № 3. – С. 15–37.
4. Кузьмина, Ж. В. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги / Ж. В. Кузьми-

на, С. Е. Трешкин, С. С. Шинкаренко // Аридные экосистемы. – 2018. – Т. 24, № 4 (77). – С. 3–18.

5. Кузьмина, Ж. В. Динамические изменения наземных экосистем поймы и дельты Нижней Волги под влиянием зарегулирования речного стока и климатических флуктуаций / Ж. В. Кузьмина, С. Е. Трешкин, Т. Ю. Каримова // Аридные экосистемы. – 2015. – № 4 (65). – С. 39–53.

6. Опыт восстановления деградированных ландшафтов и водных объектов Волго-Ахтубинской поймы: гидрологический аспект / О. В. Филиппов, Д. А. Солодовников, Д. В. Золотарев, С. Н. Канищев // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. – 2012. – № 2 (4). – С. 34–43.

7. Особенности каузального характера связей гидрологического режима и динамики растительных сообществ интразональных ландшафтов аридных территорий (на примере лугов среднего уровня дельты реки Волги) / А. Н. Бармин, М. В. Валов, М. М. Иолин, Е. А. Бармина, И. М. Куренцов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2016. – Т. 34, № 4 (225). – С. 39–47.

8. Паракшин, Ю. П. О зональности интразональных почв / Ю. П. Паракшин, Э. М. Паракшина // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2013. – № 7. – С. 127–135.

9. Полубаринова-Кочина, П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. – М. : Наука, 1977. – 664 с.

10. Попов, И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство / И. В. Попов. – Л. : Гидрометеиздат, 1965. – 328 с.

11. Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской долины и дельты Волги / под ред. М. А. Глазовской, А. Н. Ракитникова. – М. : Изд-во МГУ, 1962. – 452 с.

12. Сурков, В. В. Ярусность природных территориальных комплексов в речных поймах как функция русловых и гидрологических процессов / В. В. Сурков // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 372. – С. 197–202.

13. Формы рекреационного природопользования на территории Волго-Ахтубинской поймы / Д. А. Солодовников, С. Н. Канищев, Д. В. Золотарев, С. С. Шинкаренко // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. – 2013. – № 2 (6). – С. 53–61.

14. Характеристика морфологической структуры урочищ интразонального ландшафта центральной части дельты Волги / А. З. Карабаева, И. В. Быстрова, В. В. Занозин, О. Г. Карабаева // Естественные науки. – 2012. – № 3 (40). – С. 55–59.

15. Шеппель, П. А. Паводок и пойма / П. А. Шеппель. – Волгоград : Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1986. – 239 с.

16. Экологическая гидрогеология / А. П. Белоусова, И. К. Гавич, А. Б. Лисенков, Е. В. Попов. – М. : Академкнига, 2006. – 400 с.

17. Экологические последствия влияния зарегулирования стока реки Волги на флору, растительность и почвенный покров дельты Волги / В. Н. Пилипенко, А. В. Федотова, С. Н. Перевалов, В. А. Сагалаев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 2-2 (52). – С. 22–29.

18. Экотонные геосистемы дельты р. Волги: структурно-динамические особенности функционирования почвенно-растительного покрова / М. В. Валов, А. Н. Бармин, Е. А. Бармина, О. С. Ерошкина, Е. Е. Жаднов // Современные проблемы территориального развития. – 2017. – № 3. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://terjournal.ru/wp-content/uploads/2017/10/ID17.pdf>

19. Ямнова, И. А. Засоление почв дельты р. Волга и района западных ильменей / И. А. Ямнова, Г. И. Черноусенко, Н. И. Согнева // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2005. – С. 31–42.

20. Batelaan, O. Regional groundwater discharge: phreatophyte mapping, groundwater modelling and impact analysis of land-use change / O. Batelaan, F. De Smedt, L. Triest // Journal of Hydrology. – 2003. – Vol. 275. № 1-2. – P. 86–108.

21. Comparison of alternative modelling approaches for groundwater flow in fractured rock / J. O. Selroos, D. D. Walker, A. Strom, B. Gylling, S. Follin // Journal of Hydrology. – 2002. – Vol. 257, № 1-4. – P. 174–188.

22. Freeze, R. A. Groundwater / R. A. Freeze, J. A. Cherry. – Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1979. – 604 p.

23. Sneath, P. H. A. Numerical Taxonomy: The Principles and Practices of Numerical Classification / P. H. A. Sneath, R. R. Sokal. – San Francisco, USA : Freeman, 1973. – 573 p.

24. Stuyfzand, P. J. Patterns in groundwater chemistry resulting from groundwater flow / P. J. Stuyfzand // Hydrogeology Journal. – 1999. – Vol. 7, № 1. – P. 15–27.

25. Tharme, R. A. Global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers / R. A. Tharme // River research and applications. – 2003. – Vol. 19, iss. 5-6. – P. 397–441.

REFERENCES

1. Vishnyakov N.V., Kanishchev S.N., Solodovnikov D.A. Sovremennoe sostoyanie, gidrologicheskaya kharakteristika i puti optimizatsii ispolzovaniya vodnykh ob'ektov basseyna reki Bolshaya

Golubaya [Current Status, Hydrological Characteristics and Ways to Optimize the Use of Water Bodies of the Bolshaya Golubaya River Basin]. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic Sistem], 2015, no. 4, pp. 268-277. DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2015.4.27>.

2. Valov M.V., Barmin A.N., Kolotukhin A.Yu., Barmina E.A. Vliyanie pervichnykh i vtorichnykh ekologicheskikh faktorov na dinamiku pochvenno-rastitelnogo pokrova dolgopoymennyykh territoriy intrazonalnykh deltovykh landshaftov reki Volgi [Influence of Primary and Secondary Environmental Factors on the Dynamics of Soil and Vegetation Cover of Long-Term Territories of the Intrazonal Delta Landscapes of the Volga River]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2017, no. 2 (65), pp. 93-104.

3. Bolgov M.V., Shatalova K.Yu., Gorelic O.V., Zemlyanov I.V. Vodno-ekologicheskie problemy Volgo-Ahtubinskoy poymy [Water-Ecological Problems of the Volga-Akhtuba Floodplain]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], 2017, vol. 1, no. 3, pp. 15-37.

4. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Vliyanie zaregulirovaniya rechnogo stoka i izmeneniy klimata na dinamiku nazemnykh ekosistem Nizhney Volgi [Influence of River Flow Regulation and Climate Change on the Dynamics of Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga]. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems], 2018, vol. 24, no. 4 (77), pp. 3-18.

5. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Karimova T.Yu. Dinamicheskie izmeneniya nazemnykh ekosistem poymy i delty Nizhney Volgi pod vliyaniem zaregulirovaniya rechnogo stoka i klimaticheskikh fluktuatsiy [Dynamic Changes in Terrestrial Ecosystems of the Floodplain and Lower Volga Delta Under the Influence of River Low Regulation and Climatic Fluctuations]. *Aridnye Ekosistemy* [Arid Ecosystems], 2015, no. 4 (65), pp. 39-53.

6. Filippov O.V., Solodovnikov D.A., Zolotarev D.V., Kanishchev S.N. Opyt vosstanovleniya degradirovannykh landshaftov i vodnykh obyektov Volgo-Akhtubinskoy poymy: gidrologicheskii aspekt [Experience of Restoration of Degraded Landscapes and Water Bodies of the Volga-Akhtuba Floodplain: Hydrological Aspect]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11: Estestvennye nauki* [Science Journal of Volgograd State University. Natural Sciences], 2012, no. 2 (4), pp. 34-43.

7. Barmin A.N., Valov M.V., Iolin M.M., Barmina E.A., Kurentsov I.M. Osobennosti kausalnogo kharaktera svyazey gidrologicheskogo rezhima i dinamiki rastitelnykh soobshchestv intrazonalnykh landshaftov aridnykh territoriy (na primere lugov srednego urovnya delty reki Volgi) [Features of the Causal Nature of the Links in the Hydrological Regime and Dynamics of Plant Communities

in the Intrazonal Landscapes of Arid Areas (For Example, Meadows the Average Level of the Delta of the Volga River)]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences], 2016, vol. 34, no. 4 (225), pp. 39-47.

8. Parakshin Yu.P., Parakshina E.M. O zonalnosti intrazonalnykh pochv [On Zoning of Intrazonal Soils]. *Vestnik Baltijskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i Meditsinskie Nauki* [Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant. Series: Natural and Medical Sciences], 2013, no. 7, pp. 127-135.

9. Polubarinova-Kochina P.Ya. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod* [Theory of Groundwater Movement]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 664 p.

10. Popov I.V. *Deformatsii rechnykh rusel i gidrotekhnicheskoe stroitelstvo* [Deformations of Riverbeds and Hydraulic Engineering]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1965. 328 p.

11. Glazovskaya M.A., Rakitnikova A.N., eds. *Priroda i selskoe hozyaystvo Volgo-Ahtubinskoy doliny i delty Volgi* [Nature and Agriculture of the Volga-Akhtuba Valley and the Volga Delta]. Moscow, Izd-vo MGU, 1962. 452 p.

12. Surkov V.V. Yarusnost prirodnykh territorialnykh kompleksov v rechnykh poymakh kak funktsiya ruslovykh i gidrologicheskikh protsessov [Tiering of Natural Territorial Complexes in River Floodplains as a Function of Channel and Hydrological Processes]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin Tomsk State University], 2013, no. 372, pp. 197-202.

13. Solodovnikov D.A., Kanishchev S.N., Zolotarev D.V., Shinkarenko S.S. Formy rekreatsionnogo prirodopolzovaniya na territorii Volgo-Akhtubinskoy poymy [Forms of Recreational Nature Management on the Territory of the Volga-Akhtuba Floodplain]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11: Estestvennye nauki* [Science Journal of Volgograd State University. Natural Sciences], 2013, no. 2 (6), pp. 53-61.

14. Karabaeva A.Z., Bystrova I.V., Zanozin V.V., Karabaeva O.G. Kharakteristika morfologicheskoy struktury urochishch intrazonalnogo landshafta tsentralnoy chasti delty Volgi [Characteristics of the Morphological Structure of the Tracts of the Intrazonal Landscape of the Central Part of the Volga Delta]. *Estestvennye nauki* [Natural Science], 2012, no. 3 (40), pp. 55-59.

15. Sheppel P.A. *Pavodok i poyma* [Flood and Floodplain]. Volgograd, Nizhne-Volzhsкое knizhnoe izdatelstvo, 1986. 239 p.

16. Belousova A.P., Gavich I.K., Lisenkov A.B., Popov E.V. *Ekologicheskaya gidrogeologiya* [Environmental Hydrogeology]. Moscow, Akademkniga, 2006. 400 p.

17. Pilipenko V.N., Fedotova A.V., Perevalov S.N., Sagalaev V.A. Ekologicheskie posledstviya vliyaniya zaregulirovaniya stoka reki Volgi na floru, rastitelnost i pochvennyy pokrov delty Volgi [Ecological Consequences of the Influence of the Volga River Flow Regulation on the Flora, Vegetation and Soil Cover of the Volga Delta]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University], 2006, no. 2-2 (52), pp. 22-29.

18. Valov M.V., Barmin A.N., Barmina E.A., Eroshkina O.S., Zhadnov E.E. Ekotonnye geosistemy delty r. Volgi: strukturno-dinamicheskie osobennosti funktsionirovaniya pochvenno-rastitelnogo pokrova [Ecotonic Geosystems of the Volga River Delta: Structural and Dynamic Features of Soil and Vegetation Cover Functioning]. *Sovremennyye Problemy Territorialnogo Razvitiya* [Modern Problems of Territorial Development], 2017, no. 3. URL: <https://terjournal.ru/wp-content/uploads/2017/10/ID17.pdf>.

19. Yamnova I.A., Chernousenko G.I., Sotneva N.I. Zasolenie pochv delty r. Volga i rayona zapadnykh ilmeney [Salinization of Soils of the Volga Delta and Western Ilmen Area]. *Byulleten*

Pochvennogo Instituta im. V.V. Dokuchaeva [Bulletin of the Soil Institute V.V. Dokuchaev], 2005, pp. 31-42.

20. Batelaan O., De Smedt F., Triest L. Regional Groundwater Discharge: Phreatophyte Mapping, Groundwater Modelling and Impact Analysis of Land-use Change. *Journal of Hydrology*, 2003, vol. 275, no. 1-2, pp. 86-108.

21. Selroos J.O., Walker D.D., Strom A., Gylling B., Follin S. Comparison of Alternative Modelling Approaches for Groundwater Flow in Fractured Rock. *Journal of Hydrology*, 2002, vol. 257, no. 1-4, pp. 174-188.

22. Freeze R.A., Cherry J.A. *Groundwater*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1979. 604 p.

23. Sneath P.H.A. *Numerical Taxonomy: The Principles and Practices of Numerical Classification*. San Francisco, USA, Freeman, 1973. 573 p.

24. Stuyfzand P.J. Patterns in Groundwater Chemistry Resulting from Groundwater Flow. *Hydrogeology Journal*, 1999, vol. 7, no.1, pp. 15-27.

25. Tharme R.A. Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers. *River research and applications*, 2003, vol. 19, iss. 5-6, pp. 397-441.

Information about the Authors

Denis A. Solodovnikov, Candidate of Sciences (Geography), Associate Professor, Head of the Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, prosp. Universitetskiy, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, solodovnikov@volsu.ru.

Stanislav S. Shinkarenko, Candidate of Sciences (Agriculture), Associate Professor, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, prosp. Universitetskiy, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, shinkarenko@volsu.ru.

Nikolai V. Vishnyakov, Senior Lecturer, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, prosp. Universitetskiy, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, vishnyakov@volsu.ru.

Natalya M. Khavanskaya, Candidate of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, prosp. Universitetskiy, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, khavanskaya@volsu.ru.

Информация об авторах

Денис Анатольевич Солодовников, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, solodovnikov@volsu.ru.

Станислав Сергеевич Шинкаренко, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, shinkarenko@volsu.ru.

Николай Владимирович Вишняков, старший преподаватель кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, vishnyakov@volsu.ru.

Наталья Михайловна Хаванская, кандидат географических наук, доцент кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, khavanskaya@volsu.ru.