

УДК 631.671

DOI: 10.31774/2658-7890-2019-3-127-144

А. И. Тищенко, А. А. Кузьмичёв, А. В. Бреева

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЖИМА УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕК И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Цель: при помощи базовых теоретических и эмпирических зависимостей известных ученых в области гидравлики мелиоративных сооружений и анализа литературных данных выявить закономерности режима уровней грунтовых вод пойменных территорий рек и определить методы их исследований (на примере Ростовской области). **Методы:** математические зависимости для обработки материалов, полученных на основании проведенных натурных исследований. В практике исследования движения грунтовых вод существует несколько методов, из которых основными являются методы: гидродинамический; гидравлические, основанные на применении и преобразованиях уравнения Буссинеска; численно-графические; моделирования; полевых исследований. **Результаты:** перечисленные методы исследования неустановившегося движения грунтовых вод позволили определить наиболее надежный и верный метод – метод полевых исследований. В связи с этим была разработана методика проведения рекогносцировочных работ. **Заключение:** разработанная методология позволяет в процессе натурных исследований подробно описать границы распространения подземных грунтовых вод и возможные масштабы подтопления и затопления пойменных территорий рек. Наличие достаточной базы методических, правовых и нормативно-технических документов позволяет осуществлять весь комплекс необходимых работ по установлению границ зон затопления и подтопления пойменных территорий рек Ростовской области.

Ключевые слова: грунтовые воды; режим уровней; климатические изменения; водный режим рек; гидравлический метод исследования; геодезические изыскания; границы зон затопления; пойменные территории рек.

A. I. Tishchenko, A. A. Kuzmichev, A. V. Breyeva

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

REGULARITIES OF THE GROUNDWATER LEVEL REGIME OF RIVER FLOODPLAINS AND THEIR RESEARCH METHODS (ON THE EXAMPLE OF ROSTOV REGION)

Objective: using the basic theoretical and empirical dependencies of famous scientists in the field of hydraulics of reclamation facilities and analysis of literature data, to reveal the patterns of groundwater level regimes in river floodplains and to determine their research methods (using the example of Rostov region). **Materials and Methods:** mathematical dependencies for processing materials obtained on the basis of field studies. In the practice of studying groundwater motion, there are several methods, of which the main ones are the following: hydrodynamic; hydraulic, based on the application and transformations of the Boussinesq equation; numerical and graphic; modeling; field research. **Results:** these mentioned methods



for studying the unsteady groundwater motion allowed to determine the most reliable and correct method – the field research method. In this regard, a methodology for reconnaissance operations was developed. **Conclusion:** the developed methodology allows to describe in detail the boundaries of the groundwater distribution in the course of field studies and the possible extent of underflooding and flooding of the river floodplains. The presence of a sufficient base of methodological, legal and regulatory-technical documents allows to carry out the full range of necessary work to determine the underflooding and flooding area boundaries of rivers floodplains of Rostov Region.

Key words: groundwater; level regime; climatic changes; river water regime; hydraulic research method; geodetic surveys; boundaries of flooding zones; river floodplains.

Введение. В последнее десятилетие на территории Российской Федерации участились случаи затопления и подтопления пойменных территорий рек талыми и ливневыми водами, принесшие и приносящие материальный ущерб в миллиарды рублей, в областях Сибири, Поволжья, Южного федерального округа и на других территориях России. В связи с этим было принято решение о проведении предупредительных (превентивных) мероприятий¹ в части инженерной защиты территорий на основании установленных границ зон затопления и подтопления [1].

Оценка современных изменений формирования водных ресурсов является актуальной [2, 3]. Актуальность объясняется еще и тем, что различные изменения климата оказывают влияние на величину годового стока. От величины годового стока в прямой зависимости находятся водный режим рек той или иной территории России, объем и положение уровня поверхности весеннего половодья, сток летней и зимней межени, сток подземных вод. Все это влияет на водность рек, которые имеют тенденции пересыхать в периоды, когда эти стоки отсутствуют [4].

На современном этапе произошло нарушение естественного режима стока в значительном числе рек различной величины. Такое положение создалось в результате вмешательства человека [5] в естественное состояние природы. Из-за этого вмешательства происходит изменение однородности гидрографов стока в реках [6].

¹ ГОСТ Р 51702.2-2000. Страхование. Классификация расходов на страховую превенцию. – Введ. 2001-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 5 с.

Многолетние наблюдения с целью изучения режима уровня грунтовых вод при естественном их состоянии [6] позволили установить, что при глубине залегания уровня грунтовых вод менее 10 м общей закономерностью (для всех территорий) является годовая периодичность в колебании уровня грунтовых вод. Эта периодичность указывает на сезонный характер питания грунтовых вод.

Изучая характер изменения уровней грунтовых вод [6] в течение года, установили, что кривые колебания уровней имеют форму синусоиды. При этом пик синусоиды приходится на весеннее время года, а минимальное значение – на осенний период [7]. В течение весеннего периода в интервале весеннего снеготаяния испарение влаги незначительно, это обусловлено тем, что температура и дефицит влажности воздуха невелики.

Известно, что почвогрунты при оттаивании приобретают рыхлую структуру, в связи с чем у них увеличивается водопроницаемость. В период половодья уровни воды в реках (при их наполнении водой [8]) повышаются, в результате чего происходит подпор грунтовых вод. В связи с этим создается такая ситуация, при которой сток грунтовых вод в прибрежной зоне приостанавливается.

Метеорологические факторы (осадки, испарение, температура воздуха, атмосферное давление) создают в весенний период наиболее благоприятные условия для инфильтрации атмосферных осадков до уровня грунтовых вод вплоть до повышения его до максимального значения. С приходом летне-осеннего периода [8] температура воздуха и его дефицит влажности достигают максимальных величин, способствуя наиболее интенсивному испарению с поверхности грунтовых вод.

Режим грунтовых вод [8] представляет собой изменение во времени их уровня, а также химического состава, температуры и расхода.

В естественных условиях на режим подземных вод влияют следующие факторы: метеорологические, гидрогеологические, геологические. Режим,

который складывается в естественных условиях, – это ненарушенный режим.

Искусственный (нарушенный) режим подземных вод формируется при инженерно-строительной деятельности человека и из-за других техногенных причин, при которых изменяется естественный режим. Строительство водохранилищ и других искусственных водоемов способствует изменению режима грунтовых вод, уровень которых может подниматься на 10–15 м и более, вызывая склоновые процессы различного характера, с которыми нужно вести борьбу [9].

На орошаемых территориях [9] изменение режима грунтовых вод происходит из-за полива сельскохозяйственных культур. При обильном поливе уровень грунтовых вод повышается, происходит переувлажнение почвы в связи с недостаточной фильтрацией оросительной воды при поверхностном поливе. В результате происходит контактное смыкание уровня грунтовых вод с поливной водой, прошедшей через почву, что приводит к заболачиванию орошаемой территории [10] и экологической опасности [11, 12]. Поднятию уровня грунтовых вод способствуют переливы оросительной воды через дамбы каналов при засорении отверстий гидротехнических сооружений (вниз по течению) различным плавником (ветки деревьев, сломленные ветром, сорная растительность (камыш), скошенная с откосов канала, и другие плавающие предметы) [13, 14].

Материалы и методы. Материалами исследований явились сведения рекогносцировочных обследований рек Ростовской области. Методами – математические зависимости для обработки материалов, полученных на основании проведенных натурных исследований.

В практике исследования движения грунтовых вод существует несколько методов, из которых основными являются:

- гидродинамический метод, решение при этом находится или путем использования особенностей функции Жуковского [15] и комплексного потенциала для группы задач, или путем отыскания коэффициентов беско-

нечного ряда, составленного по возрастающим степеням времени [16]. В связи со сложностью математических выкладок данный метод не нашел широкого применения при решении практических задач гидротехники;

- гидравлические методы, основанные на применении и преобразованиях уравнения Буссинеска:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = k \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right] \pm w_0 \text{ при } h = \frac{p}{\rho g} + z, \quad (1)$$

где μ – свободная порозность, доли единицы (%);

h – напор, м;

t – время, сут;

k – коэффициент фильтрации, м/сут;

x, y, z – координаты, м;

w_0 – интенсивность подпитывания (или испарения) грунтовых вод с поверхности земли [17], кг/(м²·сут);

p – давление, Па (кг/м²);

ρ – плотность, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

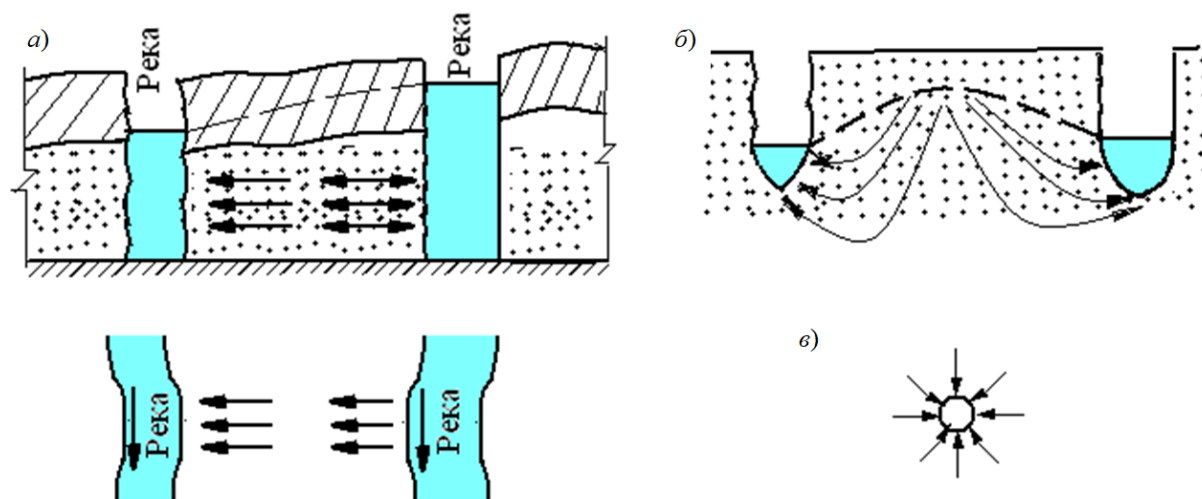
Преобразование 1. С учетом того, что протяженность водоносного горизонта в пространстве значительно превышает его мощность, изменением напора по вертикали можно пренебречь, т. е. $\partial h / \partial y = 0$. Тогда поток рассматривается как плоский в плане, разрезе и радиально (рисунок 1) и уравнение (1) принимает вид:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = k \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) \pm w_0. \quad (2)$$

Приняв, что мощность грунтовых вод значительно превышает колебания их уровня, формулу (2) записывают в следующем виде:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = k T_{\text{cp}} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \pm w_0, \quad (3)$$

где T_{cp} – средняя мощность потока грунтовых вод, м.



a – плоский в плане; *б* – плоский в разрезе; *в* – плоскорадиальный

Рисунок 1 – Виды фильтрационных потоков

Произведение в правой части выражения (2) представляет собой изменение расхода по длине потока, т. е.:

$$k \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) = \frac{\partial Q}{\partial x}, \quad (4)$$

где Q – расход грунтовых вод, м³/с.

Произведение в правой части выражения (3) также представляет изменение расхода, но через изменение уклона потока I .

Преобразование 2. Линеаризация нелинейного дифференциального уравнения (2) линейной зависимостью (3). С этой целью Н. Н. Веригин [18, 19] в уравнение (2) ввел новую переменную $u = 0,5h^2$, в результате чего зависимость (2) приобрела следующий вид:

$$a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b = \frac{\partial u}{\partial t} \quad \text{при} \quad a = \sqrt{\frac{kh_{\text{ср}}}{\mu}}, \quad b = \frac{w_0 h_{\text{ср}}}{\mu}, \quad (5)$$

где a – величина изменения среднего напора в течение суток, м/сут^{0,5};

u – переменная величина, м²;

$h_{\text{ср}}$ – осредненное значение напора, м;

b – приведенная интенсивность питания или испарения с поверхности грунтовых вод, м²/сут.

Дальнейшие преобразования были выполнены Ю. Д. Соколовым [20, 21], В. С. Лукьяновым [22] и другими авторами с целью отыскания упрощенного решения зависимостей (2) и (3):

- численно-графические методы, начало которым положил Г. Н. Каменский [23], предложивший численный метод расчета, названный им способом составления уравнений неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях. Сущность этого метода заключается в следующем: плоский поток делится по длине на равные элементарные участки и на основании формулы Дюпюи составляется водный баланс элементарного участка за время Δt , в результате чего уравнение баланса принимает следующий вид:

$$\frac{H_{n,s+1} - H_{n,s}}{\Delta t} = \frac{2kh}{\mu(\Delta x)^2} \left(\frac{H_{n+1,s} + H_{n-1,s}}{2} - H_{n,s} \right) + \frac{w}{\mu}, \quad (6)$$

где $n-1, n, n+1$ – безразмерные индексы, обозначающие номера сечений сверху вниз по течению потока;

H – напор, отсчитанный от плоскости сравнения, м;

s – индекс, обозначающий время, сут;

Δt – элемент времени, для которого подсчитывается баланс, сут;

h – глубина грунтовых вод, м;

Δx – расстояния (одинаковые) между сечениями, м;

w – инфильтрация атмосферных осадков с поверхности земли, м/с;

- метод моделирования, который получил широкое применение при исследованиях неустановившегося движения грунтовых вод, при этом наибольшее распространение получили испытания на гидравлическом интеграторе В. С. Лукьянова [22];

- метод полевых исследований, наиболее надежный по сравнению с другими, приведенными выше, методами (гидродинамическим, гидравлическим, численно-графическим, моделирования), позволяет в конкретных условиях решать поставленные задачи, в комплексе с теоретическими методами является особенно ценным.

Результаты и обсуждение. Перечисленные методы исследования неустановившегося движения грунтовых вод позволили определить наиболее надежный и верный метод – метод полевых исследований. В связи с этим возникла необходимость в создании методики проведения рекогносцировочных работ, содержание которой заключается в следующем [8].

1 Рекогносцировочное обследование, представляющее собой состав работ с целью получения информации о геологическом строении исследуемой территории, заключается в выполнении отдельных видов инструментальных геодезических и гидрометрических изысканий и включает в состав перечень следующих мероприятий [8]:

- начальным этапом обследования является осмотр территории для выполнения дальнейших научных изысканий с использованием наземного транспорта;

- по результатам осмотра намечаются маршруты, которые необходимо пройти для выполнения рекогносцировочного обследования с визуальной оценкой состояния рельефа местности;

- при обнаружении (в процессе осмотра намеченных участков местности) обрушенных берегов рек, водохранилищ и других водоемов² выполняется подробное их описание;

- если в ходе проведения рекогносцировочного обследования выявляется просачивание грунтовых вод в берегах рек или водоемов, а также другие водопроявления, производится их описание и фиксация их местоположения;

- при наличии застроенных территорий, которые подвержены инженерно-геологическим процессам в виде подтопления или затопления, производится их описание с фиксацией площади и нанесением ее на карту;

² Инженерно-геологические изыскания для строительства. Технические требования к производству работ: СН РК 1.02-18-2007: принят Ком. по делам стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва М-ва индустрии и торговли Респ. Казахстан 03.01.08: введ. в действие с 01.05.08. – Астана, 2008. – 331 с.

- по информации при опросе местного населения выявляются факты и причины, а также масштабы опасных геологических процессов, представляющих чрезвычайные ситуации для населения²;

- при инженерно-геологических изысканиях обязательно следует воспользоваться материалами изысканий и исследований прошлых лет, которыми в основном являются технические отчеты и архивные документы, ими могут быть топографические планы прошлых лет по застройке территории, материалы по площадному нивелированию и др.

2 Для выполнения рекогносцировочных обследований необходимо наметить маршруты с определением их величин и направлений в пределах выделенных контуров территорий, намеченных для выполнения инженерно-геологических изысканий. Маршрутные наблюдения следует осуществлять в соответствии с п. 5.5 СП 11-105-97 (ч. 1)³.

3 Количество маршрутов, их состав и объемы предстоящих работ зависят от числа застроенных территорий, намеченных для выполнения рекогносцировочных обследований и проведения детальных инженерно-геологических изысканий с целью выявления и изучения основных особенностей исследуемой территории.

4 На территориях, выбранных для проведения исследований, необходимо наметить профили, по которым будут проходить маршруты, с учетом направления трасс автомобильных дорог, пользуясь снимками из космоса, топографическими планами и картами, которые были подготовлены в результате изысканий прошлых лет.

5 В процессе выполнения маршрутных наблюдений необходимо учитывать формы рельефа исследуемой местности, места выхода подземных вод на поверхность, состояние искусственных водоемов (колодцев и скважин, в которых следует произвести замер уровней воды и отметить

³ Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. 1. Общие правила производства работ: СП 11-105-97: введ. в действие с 01.03.98. – М.: Госстрой России, 1998. – 47 с.

ее температуру). На застроенных территориях необходимо делать сопоставление имеющихся топографических планов прошлых лет с учетом планов, составленных до начала строительства. В створах, намеченных для детальных² исследований, нужно брать пробы грунта и воды для проверки их состава в химлаборатории.

6 При проведении рекогносцировочных обследований особое внимание следует уделять опасным инженерно-геологическим и геологическим процессам (высокий уровень залегания грунтовых вод, приводящий к заболачиванию территории, слабоустойчивые грунты, приводящие к тектоническим нарушениям, и т. д.²).

7 Направления маршрутов выбираются с помощью дешифрирования материалов, полученных из космоса, а также аэровизуальных наблюдений.

8 Для выполнения детальных изысканий на застроенных территориях маршрутные обследования объединяют с инженерно-геологическими, инженерно-гидрологическими и инженерно-экологическими наблюдениями.

9 В процессе проведения маршрутных наблюдений на застроенных территориях особое внимание следует уделять таким проявлениям, как заболоченность, подтопление, просадки земли и др.

10 В ходе натуральных маршрутных наблюдений производится уточнение мест территории с целью выполнения на них детальных исследований и составления необходимой документации по выполнению комплекса изыскательских работ.

Согласно приведенной методике в ходе натуральных исследований необходимо выполнить следующие инженерные изыскания⁴:

- инженерно-геодезические;
- инженерно-гидрометеорологические;

⁴ Инженерные изыскания для строительства. Основные положения: СП 47.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва Рос. Федерации 30.12.16: введ. в действие с 01.07.17. – М.: Минстрой России, 2016. – 170 с.

- инженерно-гидрологические;
- инженерно-экологические;
- инженерно-геологические и инженерно-гидрогеологические.

Согласно п. 5.1.1 СП 47.13330.2016 «инженерно-геодезические изыскания выполняются для получения достоверных и достаточных топографо-геодезических материалов и данных о ситуации и рельефе местности (в том числе дна водотоков, водоемов),... элементах планировки, проявлениях опасных природных процессов и факторов техногенного воздействия (в цифровой, графической, фотографической и иных формах)».

В соответствии с п. 5.1.3 СП 47.13330.2016 при проведении инженерно-геодезических изысканий на застроенных территориях необходимо выполнить следующие основные виды работ⁴:

- создание опорных геодезических сетей;
- создание и (или) обновление инженерно-топографических планов в масштабах 1:5000 – 1:200, в т. ч. в цифровой форме, съемка коммуникаций и сооружений;
- трассирование линейных объектов;
- инженерно-гидрографические работы, в т. ч. русловая съемка;
- специальные геодезические и топографические работы при проведении полевых исследований;
- с учетом п. 5.1.4 этого свода правил проведение рекогносцировочного обследования территории (участка, трассы) инженерных изысканий.

Согласно п. 7.1.1 СП 47.13330.2016 «инженерно-гидрометеорологические изыскания выполняются для комплексного изучения гидрометеорологических условий исследуемой территории... с целью получения необходимых и достаточных материалов для подготовки документов территориального планирования и планировки территории при изысканиях источников водоснабжения на базе подземных вод и их изучении⁴».

С учетом рекомендаций п. 7.1.3 «инженерно-гидрометеорологические изыскания должны выполняться для решения следующих задач⁴:

- обоснования схемы комплексного использования и охраны вод, возможности использования водных объектов в качестве источников водоснабжения, в санитарно-технических, транспортных, энергетических, мелиоративных, спортивных и культурно-бытовых целях;

- выделения границ территорий с особыми условиями использования (зон затопления и водоохранных зон) и территорий подверженных риску возникновения опасных гидрометеорологических процессов и явлений;

- обоснования проведения мероприятий по организации поверхностного стока, частичному или полному осушению территории;

- выбора мест размещения площадок строительства (трасс) и их инженерной защиты от неблагоприятных гидрометеорологических воздействий;

- выбора конструкций сооружений, определения их основных параметров и организации строительства;

- определения условий эксплуатации сооружений;

- оценки воздействия объектов строительства на гидрологический режим и климат территории и разработки природоохранных мероприятий».

Согласно п. 7.1.4 «инженерно-гидрометеорологические изыскания выполняются в комплексе с инженерно-геологическими и инженерно-геодезическими изысканиями в случаях⁴:

- поиска и разведки подземных вод для целей водоснабжения;

- изучения процессов подтопления территории подземными водами и изменения их химического состава;

- изучения и прогноза русловых и пойменных деформаций рек;

- изучения и прогноза переработки берегов озер и водохранилищ».

Полевые гидрометрические наблюдения за уровнями воды в руслах рек и камеральные работы проводились с использованием методов геодезических измерений. В состав работ, выполняемых при гидрометрическом измерении, входили наблюдения:

- за уровнями воды с ежедневной связкой;
- уклонами водной поверхности;
- скоростями течения;
- расходами.

В ходе выполнения гидрометрических наблюдений изучались русловые процессы.

Гидрологические расчеты проводились в соответствии с требованиями нормативных и рекомендуемых документов СП 11-103-97, СП 33-101-2003, а также пособия по определению расчетных гидрологических характеристик. Основные гидрологические характеристики определялись для р. Дон и Миус при наличии данных гидрометрических наблюдений путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения (п. 5.2 СП 33-101-2003). Для малых, неизученных рек использовались методы расчета гидрологических характеристик при отсутствии рек-аналогов (п. 7.25 (б) СП 33-101-2003).

При выполнении натурных исследований устанавливались:

- наличие, масштабы и частота повторяемости подтопления на застроенных территориях и возможность его возникновения на вновь осваиваемых территориях, выявление причин и факторов подтопления;
- условия гидрогеологических процессов³ исследуемой территории;
- характеристики водоносных горизонтов с приведением показателей фильтрационных свойств грунтов и грунтов зоны аэрации;
- критический уровень подземных вод;
- показатели граничных значений области фильтрации в плане и разрезе;
- основные закономерности режима подземных вод;
- повторяемость и характер воздействия подтопления на устойчивость и условия эксплуатации зданий и сооружений;
- изменение свойств грунтов при подтоплении территорий и возник-

новении или активизации неблагоприятных геологических и инженерно-геологических процессов^{3,4}.

Выводы

1 Рассмотрение методов исследований для определения границ затопления и подтопления пойменных территорий рек позволило выявить наиболее эффективные из них – это метод моделирования и метод полевых исследований.

2 Разработанная методология позволяет в процессе натуральных исследований подробно описать границы распространения подземных грунтовых вод и возможные масштабы подтопления и затопления пойменных территорий рек.

3 Наличие достаточной базы методических, правовых и нормативно-технических документов позволяет осуществлять весь комплекс необходимых работ по установлению границ зон затопления и подтопления пойменных территорий рек Ростовской области.

Список использованных источников

1 Об определении границ зон затопления, подтопления: Постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2014 г. № 360 (с изменениями на 17 мая 2016 г.) // Гарант Эксперт 2016 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2016.

2 Данилов-Данильян, В. И. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев. – М.: Наука, 2006. – 221 с.

3 Изменение подземного стока под влиянием климата и антропогенных воздействий / Р. Г. Джамалов, И. С. Зекцер, Г. Н. Кричевец, Т. И. Сафронова, Л. Ф. Сотникова, Ю. В. Громова // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35, № 1. – С. 17–24.

4 Изменение подземного стока р. Дон под влиянием климата / Р. Г. Джамалов, Н. Л. Фролова, М. Б. Киреева, Т. И. Сафронова. – М.: МГУ, 2018. – 25 с.

5 Гидрогеология СССР. Т. 28. Нижний Дон и Северо-Восточное Приазовье / Е. С. Бареев [и др.]. – М.: Недра, 1970. – 224 с.

6 Динамика подземного стока бассейна Дона под влиянием изменений климата / Р. Г. Джамалов, Н. Л. Фролова, М. Б. Киреева, Т. И. Сафронова // Недропользование – XXI век. – 2010. – № 4. – С. 78–81.

7 Режим грунтовых вод, масштабы и причины техногенного подтопления населенных пунктов юга Ростовской области / О. Б. Барцев, Д. Н. Гарькуша, А. М. Никаноров, Л. И. Минина, Е. А. Зубков // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 415–422.

8 Дзекцер, Е. С. Основные закономерности формирования процесса подтопления застраиваемых территорий грунтовыми водами / Е. С. Дзекцер // Процессы подтопления застроенных территорий грунтовыми водами (прогноз и защита). – М.: Наука, 1985. – С. 5–11.

9 Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / А. Б. Авакян [и др.]; отв. ред. Г. В. Воропаев, А. Б. Авакян; АН СССР, Секция хим.-технол. и биол. наук, Секция наук о Земле Сов. ком. по прогр. ЮНЕСКО «Человек и биосфера». – М.: Наука, 1986. – 366 с.

10 Werner, P. W. On non-artesian groundwater flow / P. W. Werner // *Geofisica Pura e Applicata*. – 1953. – Vol. 25, № 1. – P. 37–43. – DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02014053>.

11 Васильев, С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Васильев Сергей Михайлович. – Волгоград, 2006. – 35 с.

12 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2004. – 388 с.

13 Тищенко, А. И. Сетевые гидротехнические сооружения / А. И. Тищенко; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2008. – 246 с.

14 Тищенко, А. И. Предотвращение чрезвычайных ситуаций в зонах возможного подтопления при помощи затвора-автомата / А. И. Тищенко, Н. В. Захарченко // *Техносферная безопасность, надежность, качество, энергоснабжение: материалы 15-й Международ. науч.-практ. конф.* – Ростов н/Д.: РГСУ, 2013. – Вып. 15, т. 2. – С. 34–42.

15 Жуковский, Н. Е. Полное собрание сочинений. Т. 3. Видоизменение метода Кирхгофа для определения движения жидкости в двух измерениях при постоянной скорости, данной на известной линии тока / Н. Е. Жуковский. – М. – Л.: ОНТИ, 1936. – 493 с.

16 Полубаринова-Кочина, П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. – М.: Гостехтеориздат, 1952. – 674 с.

17 Анпилов, В. Е. Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях / В. Е. Анпилов. – М.: Недра, 1984. – 161 с.

18 Веригин, Н. Н. Движение грунтовых вод вблизи водохранилищ / Н. Н. Веригин // *Гидротехническое строительство*. – 1952. – № 4. – С. 35–39.

19 Веригин, Н. Н. Фильтрация в обход плотин и эффективность противофильтрационных завес / Н. Н. Веригин // *Гидротехническое строительство*. – 1947. – № 5. – С. 10–14.

20 Соколов, Ю. Д. О некоторых частных решениях уравнения Буссинеска / Ю. Д. Соколов // *Украинский математический журнал*. – 1956. – Т. 8, № 1. – С. 48–54.

21 Соколов, Ю. Д. Об одной задаче теории неустановившихся движений грунтовых вод / Ю. Д. Соколов // *Украинский математический журнал*. – 1953. – Т. 5, № 2. – С. 159–170.

22 Лукьянов, В. С. Технические расчеты на гидравлических приборах Лукьянова / В. С. Лукьянов. – М. – Л.: Трансжелдориздат, 1937. – 28 с.

23 Каменский, Г. Н. Гидродинамические принципы изучения режима грунтовых вод. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии / Г. Н. Каменский // *Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии*. – М.: Госгеолгиздат, 1953. – С. 4–12.

References

1 *Ob opredelenii granits zon zatopleniya, podtopleniya* [Concerning the Determination of Boundaries of Zones of Flooding and Underflooding]. Decree of the Government of the Russian Federation of April 18, 2014, no. 360 (as amended on May 17, 2016). (In Russian).

2 Danilov-Danil'yan V.I., Losev K.S., 2006. *Potreblenie vody: ekologicheskie, ekonomicheskie, sotsial'nye i politicheskie aspekty* [Water Consumption: Ecological, Economic, Social and Political Aspects]. Moscow, Nauka Publ., 221 p. (In Russian).

3 Dzhamalov R.G., Zektser I.S., Krichevets G.N., Safronova T.I., Sotnikova L.F., Gromova Yu.V., 2008. *Izmenenie podzemnogo stoka pod vliyaniem klimata i antropogennykh vozdeystviy* [Changes in underground runoff under the influence of climate and human impacts]. *Vodnye resursy* [Water Resources], vol. 35, no. 1, pp. 17-24. (In Russian).

4 Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I., 2018. *Izmenenie podzemnogo stoka r. Don pod vliyaniem klimata* [Changes in Underground Runoff of the Don River under the Influence of Climate]. Moscow, Moscow State University Publ., 25 p. (In Russian).

5 Bareev E.S. [et al.], 1970. *Gidrogeologiya SSSR. Nizhniy Don i Severo-Vostochnoe Priazov'e* [Hydrogeology of the USSR. The Lower Don and the North-East Azov Region], vol. 28, Moscow, Nedra Publ., 224 p. (In Russian).

6 Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I., 2010. *Dinamika podzemnogo stoka basseyna Dona pod vliyaniem izmeneniy klimata* [Dynamics of the underground flow of the Don basin under the influence of climate change]. *Nedropol'zovanie – XXI vek* [Subsoil Use - XXI Century], no. 4, pp. 78-81. (In Russian).

7 Bartsev D.N., Gar'kusha O.B., Nikanorov A.M., Minina L.I., Zubkov E.A., 2014. *Rezhim gruntovykh vod, masshtaby i prichiny tekhnogenogo podtopleniya naselennykh punktov yuga Rostovskoy oblasti* [Groundwater regime, the scale and reasons of underflooding caused by human activity localities in the south of Rostov Region]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions], vol. 10, no. 2, pp. 415-422. (In Russian).

8 Dzekhtser E.S., 1985. *Osnovnye zakonomernosti formirovaniya protsessa podtopleniya zastraivaemykh territoriy gruntovymi vodami* [The main regularities of the formation of the process of flooding of built-up territories with ground waters]. *Protsessy podtopleniya zastraennykh territoriy gruntovymi vodami (prognoz i zashchita)* [Processes of Flooding of Built-up Territories with Groundwaters (Forecast and Protection)]. Moscow, Nauka Publ., pp. 5-11. (In Russian).

9 Voropaev G.V., Avakyan A.B., 1986. *Vodokhranilishcha i ikh vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu* [Reservoirs and Their Impact on Environment]. USSR Academy of Sciences, Chemical-Technological and Biological Sciences, Section of Earth Sciences by program UNESCO “Man and the Biosphere”, Moscow, Nauka Publ., 366 p. (In Russian).

10 Werner P.W., 1953. On non-artesian groundwater flow. *Geofisica Pura e Applicata*, vol. 25, no. 1, pp. 37-43, <https://doi.org/10.1007/BF02014053>. (In English).

11 Vasil'ev S.M., 2006. *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti sposobov orosheniya dlya formirovaniya ustoychivyykh agrolandshaftov v aridnoy zone. Avtoreferat diss. d-ra techn. nauk* [Improving the environmental safety of irrigation methods for the formation of sustainable agrolandscapes in the arid zone. Abstract of doc. techn. sci. diss.]. Volgograd, 35 p. (In Russian).

12 Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., 2004. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' orositel'nykh sistem* [Operational Reliability of Irrigation Systems]. Rostov-on-Don, SKNTs Higher School Publ., 388 p. (In Russian).

13 Tishchenko A.I., 2008. *Setevye gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Network Hydraulic Structures]. Novochoerkassk State Reclamation Academy, Novochoerkassk, SRSTU (NPI) Publ., 246 p. (In Russian).

14 Tishchenko A.I., Zakharchenko N.V., 2013. *Predotvrashchenie chrezvychaynykh situatsiy v zonakh vozmozhnogo podtopleniya pri pomoshchi zatvora-avtomata* [Prevention of emergencies in areas of possible flooding using an automated gate]. *Tekhnosfernaya bezopasnost', nadezhnost', kachestvo, energosnabzhenie: materialy 15 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Technosphere Safety, Reliability, Quality, Energy supply: Proc. of 15th International Scientific-Practical Conference]. Rostov-on-Don, RGSU Publ., iss. 15, vol. 2, pp. 34-42. (In Russian).

15 Zhukovsky N.E., 1936. *Polnoe sobranie sochineniy. T. 3. Vidoizmenenie metoda Kirkhgofa dlya opredeleniya dvizheniya zhidkosti v dvukh izmereniyakh pri postoyannoy skorosti, dannoy na izvestnoy linii toka* [Complete Edition in 3 vol. Modification of the Kirchhoff

method for determining fluid motion in two dimensions at a constant speed given on a known streamline]. Moscow, Leningrad, ONTI Publ., 493 p. (In Russian).

16 Polubarinova-Kochina P.Ya., 1952. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod* [Theory of Groundwater Motion]. Moscow, Gostekhizdat Publ., 674 p. (In Russian).

17 Anpilov V.E., 1984. *Formirovanie i prognoz rezhima gruntovykh vod na zastrai-vaemykh territoriyakh* [Formation and Forecasting of Groundwater Regime in the Built-In Territories]. Moscow, Nedra Publ., 161 p. (In Russian).

18 Verigin N.N., 1952. *Dvizhenie gruntovykh vod vblizi vodokhranilishch* [Groundwater movement near reservoirs]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 4, pp. 35-39. (In Russian).

19 Verigin N.N., 1947. *Fil'tratsiya v obkhod plotin i effektivnost' protivofil'tratsionnykh zaves* [Filtration bypassing dams and the efficiency of anti-filter curtains]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 5, pp. 10-14. (In Russian).

20 Sokolov Yu.D., 1956. *O nekotorykh chastnykh resheniyakh uravneniya Bussineska* [On some particular solutions of the Boussinesq equation]. *Ukrainskiy matematicheskiy zhurnal* [Ukrainian Mathematical Journal], vol. 8, no. 1, pp. 48-54. (In Russian).

21 Sokolov Yu.D., 1953. *Ob odnoy zadache teorii neustanovivshikhsya dvizheniy gruntovykh vod* [On one problem in the theory of transient groundwater movement]. *Ukrainskiy matematicheskiy zhurnal* [Ukrainian Mathematical Journal], vol. 5, no. 2, pp. 159-170. (In Russian).

22 Luk'yanov V.S., 1937. *Tekhnicheskie raschety na gidravlicheskiy priborakh Luk'yanova* [Technical Calculations on Luk'yanov Hydraulic Gauges]. Moscow, Leningrad, Transzheldorizdat Publ., 28 p. (In Russian).

23 Kamensky G.N., 1953. *Gidrodinamicheskie printsipy izucheniya rezhima gruntovykh vod. Voprosy gidrogeologii i inzhenernoy geologii* [Hydrodynamic principles of studying the regime of groundwater. Issues of hydrogeology and engineering geology]. *Trudy VNI gidrogeologii i inzhenernoy geologii* [Proc. of the All-Russian Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology]. Moscow, Gosgeolizdat Publ., pp. 4-12. (In Russian).

Тищенко Александр Иванович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: aleks.tishencko2016@mail.ru

Tishchenko Aleksandr Ivanovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: aleks.tishencko2016@mail.ru

Кузьмичёв Александр Анатольевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipmovpvapk@yandex.ru

Kuzmichev Aleksandr Anatolyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipmovpvapk@yandex.ru

Бреева Анна Викторовна

Должность: младший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipmovpvapk@yandex.ru

Breyeva Anna Viktorovna

Position: Junior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipmovpvapk@yandex.ru