

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ САРАТОВСКОГО ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ

КОРСАК Виктор Владиславович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

КРАВЧУК Алексей Владимирович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ПРОКОПЕЦ Роман Викторович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

МИТЮРЕВА Ольга Николаевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ШОРИКОВ Юрий Алексеевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

80

В статье приведены результаты исследований по созданию информационного обеспечения для прогнозирования подтопления территорий Саратовского Левобережья, включающее в себя базу необходимых для расчетов данных, состоящую из 14 реляционных файлов, в том числе справочников, файлов нормативно-справочных, фоновых и исходных данных, алгоритмы и компьютерные программы прогнозирования. Векторизация границ подтопления проводится в среде QGIS на основе экспорттированных результатов прогнозирования и цифровой модели рельефа. Разработка и внедрение предлагаемого информационного обеспечения обеспечит повышение качества прогнозов и окупится на 4-й год эксплуатации.

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

6
2021



Введение. Процессы подтопления развиваются в различных природных условиях в результате воздействия как активных, так и пассивных факторов, а основными причинами подтопления являются инфильтрация поверхностных и подпор грунтовых вод, который наблюдается при устройстве водохранилищ, прудов, оросительных каналов, гидротехнических сооружений и паводках [4]. Затопление пойменных территорий рек при паводках аналогично созданию водохранилищ, которые формируют подпор грунтовых вод, обуславливающий во многих случаях подтопление прилегающих, особенно прибрежных, территорий. Под влиянием подтопления оказываются как территории населенных пунктов, так и земли сельскохозяйственного назначения, которые испытывают периодическое подтопление. В Российской Федерации, по данным мониторинга земель различного назначения подтопленные территории занимают 12,3% сельскохозяйственных угодий нашей страны [6]. Всего к переувлажненным (включая подтопленные) относят более 80 тыс. км², из которых 34 тыс. км² приходится на земли сельскохозяйственного назначения. В основном такие земли располагаются в южной части таежной зоны, однако имеются подтопленные массивы и в других природно-климатических зонах. Подтоплению различной степени подвержены территории почти 1000 городов России, в том числе Москвы, Санкт-Петербурга, Казани, Саратова, Омска, Новосибирска, Хабаровска [7].

В Приволжском федеральном округе наибольшей опасностью подтопления характеризуются Кировская, Саратовская, Оренбургская,

Пензенская, Самарская, Нижегородская, Ульяновская области, Пермский край, а также Республики Татарстан, Марий Эл и Мордовия. Земель сельскохозяйственного назначения в округе переувлажнено около 4 % от всех площади угодий (1933 тыс. га). Больше всего подтоплено сельскохозяйственных угодий в Кировской и Нижегородской областях, а также в Республике Башкортостан, соответственно 14,7; 7,7 и 4,7 % от всех сельскохозяйственных земель (рис. 1, 2).

В Саратовской области подтопливается 129 тыс. га сельхозугодий, что составляет 1,6 % от их общей площади, а всего в области подтопленными являются 5748 км² земель, что составляет 5,7 % всей территории. При этом сильной степенью подтопления (глубина УГВ менее 1,5 м) характеризуется 3063 км², средней и слабой степенью подтопления (УГВ от 1,5 до 3 м) – 2685 км² [5].

Цель исследования – повышение качества прогнозирования подтопления территорий для условий Саратовского Левобережья путем создания автоматизированной базы данных для определения границ подтопляемой территории.

Методика исследований. Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации «Об определении границ зон затопления, подтопления» (№ 360 от 18 апреля 2014 г.) к подтопленным относят земля с глубиной залегания верхнего водоносного горизонта меньше 3 м от поверхности земли.

Методы прогнозных расчетов для определения территорий, подтопляемых грунтовыми (в результате их подпора поверхностными) водами

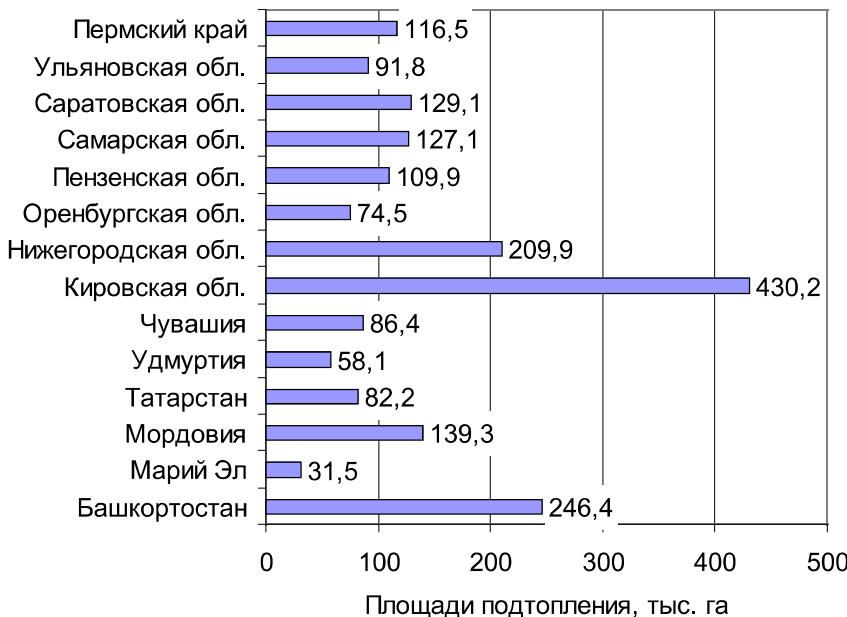


Рис. 1. Площади подтопляемых сельскохозяйственных угодий в субъектах Приволжского федерального округа

водохранилищ) или поводковыми водами основываются на работах Н. Н. Веригина, И. В. Гармонова, А. Ж. Муфтахова, Д. В. Чуносова и др. [1, 2, 8, 13].

Согласно этим исследованиям, а также СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территорий от затопления и подтопления» все возможные варианты схем и причин подтопления территорий сводятся к трем основным характерным расчетным схемам подпора грунтовых вод: 1) в полу бесконечном массиве; 2) в пределах речной долины; 3) в междуречном массиве [12].

Расчетные формулы, входящие в них величины, особенности формирования подпора грунтовых вод и проведения расчетов для данных трех расчетных схем приводятся в табл. 1.

Результаты исследований. Основой для обоснования границ зон подтопления является алгоритм определения параметров подтопления территорий, который, в свою очередь, основывается

на использовании для расчетов информации, накапливаемой в реляционной базе данных [10]. Блок-схема этого алгоритма приводится на рис. 3.

Информационное обеспечение обоснования границ затопления и подтопления территорий включает в себя базу необходимых для расчетов данных, алгоритмы и компьютерные программы проведения таких расчетов, а также экранные формы интерфейса этого информационного обеспечения. Обобщенная схема функционирования информационного обеспечения приводится на рис. 4.

В состав базы данных информационного обеспечения обоснования границ затопления и подтопления территорий входят 14 реляционных файлов, список которых приводится в табл. 2.

Реляционные файлы SPR_GEOL, SPR_SOIL, SPR_GIDR, SPR_MET являются справочниками, служащими для организации связи между данными, содержащимися в базе (в реляцион-



Рис. 2. Доли подтопляемых сельскохозяйственных угодий от общей площади земель сельскохозяйственного назначения в субъектах Приволжского федерального округа



Методики расчетов подтопления для различных схем

Расчетная схема 1	Расчетная формула	$h = h_0 + \frac{q}{kh_c} x + S_{\Pi} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}} \right]$
	Переменные	h – мощность водоносного пласта искомая, м; h_0 – мощность отложений от водоупора до уровня воды, м; x – расстояние до замеряемой точки водоносного пласта, м; k – коэффициент фильтрации, м/сут.; h_c – средняя мощность отложений до водоупора, м; a – коэффициент уровнепроводности, м ² /сут.; t – время, сут.
	Особенности проведения расчетов	При мгновенном подъеме уровня воды на величину S_{Π} подпор грунтовых вод приведет к повышению их уровня и подтоплению территории
Расчетная схема 2	Расчетная формула	$h = h_0 + \left(\frac{\omega Lx}{kh_c} \right) (1 - \bar{x}) + S_{\Pi} [1 - F_{26}(\bar{x}, f_0)]$
	Переменные	h – мощность водоносного пласта искомая, м; h_0 – мощность отложений от водоупора до уровня воды, м; x – расстояние до замеряемой точки водоносного пласта, м; k – коэффициент фильтрации, м/сут.; h_c – средняя мощность отложений до водоупора, м; a – коэффициент уровнепроводности, м ² /сут.; t – время, сут.; $\bar{x} = x/L$; $f_0 = kh_c t/nL^2$; $F_{26}(\bar{x}, f_0)$ – функция, определяемая по номограмме
	Особенности проведения расчетов	В границах речной долины, ограниченное с одной стороны коренным берегом, а с другой – урезом воды, питание грунтовых вод происходит, в основном, за счет инфильтрации
Расчетная схема 3	Расчетная формула	$h = h_0 + (h_e - h_0)xL + S_{\Pi} [1 - \bar{x} - F_{27}(\bar{x}, f_0)]$
	Переменные	h – мощность водоносного пласта искомая, м; h_0 – мощность отложений от водоупора до уровня воды, м; x – расстояние до замеряемой точки водоносного пласта, м; k – коэффициент фильтрации, м/сут.; h_c – средняя мощность отложений до водоупора, м; a – коэффициент уровнепроводности, м ² /сут.; t – время, сут.; $\bar{x} = x/L$; $f_0 = kh_c t/nL^2$; $F_{27}(\bar{x}, f_0)$ – функция, определяемая по номограмме
	Особенности проведения расчетов	Принимается, что уровень воды по правой границе остается неизменным

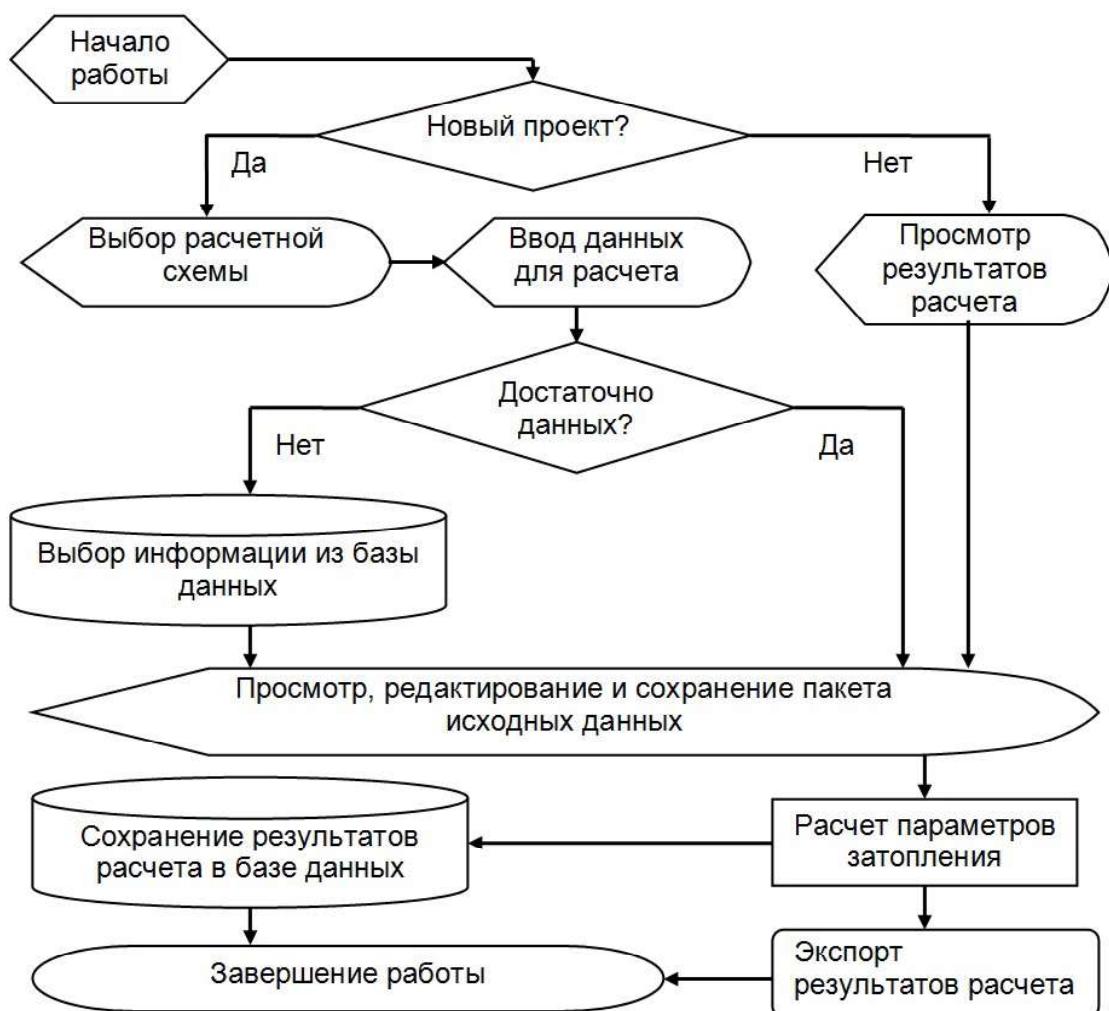


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета параметров подтопления территории



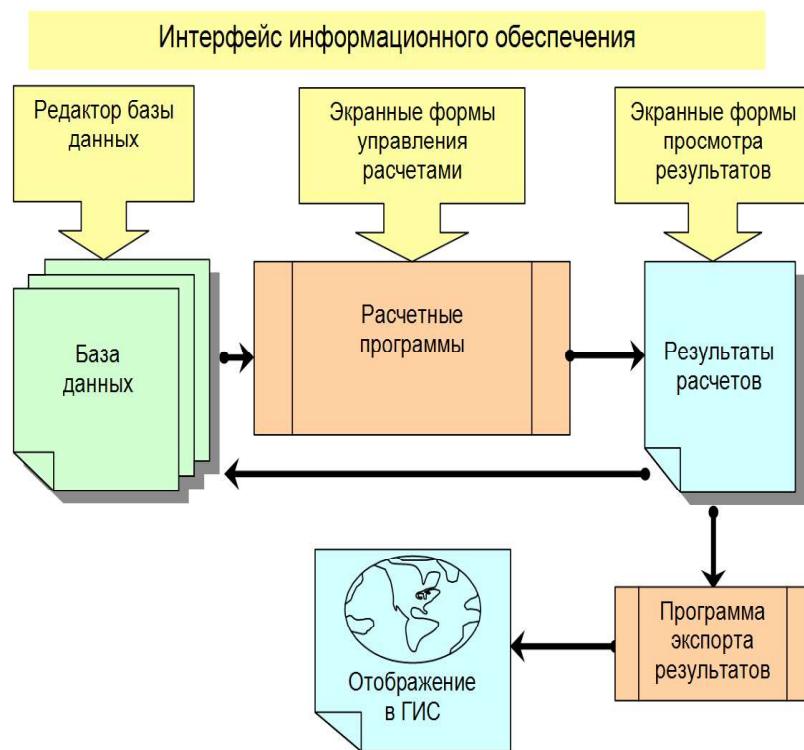


Рис. 4. Обобщенная схема функционирования информационного обеспечения обоснования границ затопления и подтопления территорий

Таблица 2

Перечень файлов базы данных информационного обеспечения обоснования границ затопления и подтопления территорий

№ файла	Имя файла	Содержание файла
1	DAN_SH1	Исходные данные для расчета по схеме 1 (в полубесконечном массиве)
2	DAN_SH2	Исходные данные для расчета по схеме 2 (в пределах речной долины)
3	DAN_SH3	Исходные данные для расчета по схеме 3 (в междуречном массиве)
4	FONDGEOL	Фондовые данные по водно-физическим параметрам горных пород, характерных зон саратовского Заволжья (волжские террасы, сырыты и т.д.)
5	FONDSOIL	Фондовые данные по водно-физическим параметрам почвенных разностей, характерных для саратовского Заволжья (южные черноземы, каштановые, бурые почвы)
6	GIDROL	Гидрологические характеристики поверхностного водного объекта, вызывающего подтопление
7	МЕТЕО	Данные метеорологических наблюдений
8	SPR_GEOL	Справочник геологических зон саратовского Заволжья
9	SPR_SOIL	Справочник почвенных разностей, характерных для саратовского Заволжья
10	SPR_GIDR	Справочник поверхностных водных объектов
11	SPR_MET	Справочник метеорологических станций
12	PAR_APP	Параметры аппроксимации функций F_{26} и F_{27}
13	RESULT	Результаты расчетов
14	EXP_GIS	Файл экспорта результатов расчетов в векторный слой цифровой карты

ных файлах МЕТЕО, GIDROL, FONDSOIL и FONDGEOL) поиска и выборки из них нужных для расчета параметров с помощью специальных ключевых (кодовых) полей.

Структуры реляционных файлов исходных данных для расчета (DAN_SH1, DAN_SH2, DAN_SH3) представлены в табл. 3–5.

Для векторизации границ затопления и подтопления территорий предлагается использовать результаты расчета, экспортированные в среду ГИС с помощью файла EXP_GIS и цифровую модель рельефа территории в формате нерегулярной триангуляционной сети, которая может быть создана с помощью модуля расширения 3D Analyst на базе векторного слоя горизонталей рельефа,

полученных с топографических карт их векторизацией в программе пакета ArcGIS или QGIS [9].

Расчет чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и дисконтированного индекса доходности (ИД) от разработки и внедрения информационного обеспечения прогнозирования границ подтопления проведен согласно РД-АПК 3.00.01.003-03 «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации сельскохозяйственных земель» [11]. Результаты расчета представлены в табл. 6.

Дисконтированный индекс доходности затрат на создание и внедрение информационного обеспечения превысит единицу уже на 4 год, что свидетельствует об окупаемости затрат.



Таблица 3

Структура файла исходных данных для расчета в полубесконечном массиве (DAN_SH1)

№	Имя поля	Тип поля	Содержание
1	CODE_RAS	Числовое целое	Код расчета
2	KOL_PT	Числовое целое	Количество расчетных точек
3	STEP_L	Числовое	Расстояние между точками, м
4	STEP_t	Числовое целое	Шаг по времени, сут.
5	IKS	Числовое	Расстояние до замеряемой точки водоносного пласта, м
6	H_0	Числовое	Мощность отложений от водоупора до уровня воды, м
7	KF	Числовое	Коэффициент фильтрации, м/сут.
8	HC	Числовое	Средняя мощность отложений до водоупора, м
9	KLC	Числовое	Коэффициент уровнепроводности, м ² /сут.
10	NAME_TXT	Текстовое (20 символов)	Название расчета
11	KOM_TXT	Текстовое (20 символов)	Комментарий к расчету
12	PR_END	Логическое	Признак выполнения расчета (да или нет)

Таблица 4

Структура файла исходных данных для расчета в пределах речной долины (DAN_SH2)

№	Имя поля	Тип поля	Содержание
1	CODE_RAS	Числовое целое	Код расчета
2	KOL_PT	Числовое целое	Количество расчетных точек
3	STEP_L	Числовое	Расстояние между точками, м
4	STEP_t	Числовое целое	Шаг по времени, сут.
5	IKS	Числовое	Расстояние до замеряемой точки водоносного пласта, м
6	N	Числовое	Расстояние до замеряемой точки водоносного пласта по вертикали, м
7	L	Числовое	Расстояние до водоупорного горизонта края долины, м
8	H_0	Числовое	Мощность отложений от водоупора до уровня воды, м
9	KF	Числовое	Коэффициент фильтрации, м/сут.
10	OMEGA	Числовое	Дополнительная инфильтрация, мм
11	HC	Числовое	Средняя мощность отложений до водоупора, м
12	KLC	Числовое	Коэффициент уровнепроводности, м ² /сут.
13	NAME_TXT	Текстовое (20 символов)	Название расчета
14	KOM_TXT	Текстовое (20 символов)	Комментарий к расчету
15	PR_END	Логическое	Признак выполнения расчета (да или нет)

Таблица 5

Структура файла исходных данных для расчета в междуречном массиве (DAN_SH3)

№	Имя поля	Тип поля	Содержание
1	CODE_RAS	Числовое целое	Код расчета
2	KOL_PT	Числовое целое	Количество расчетных точек
3	STEP_L	Числовое	Расстояние между точками, м
4	STEP_t	Числовое целое	Шаг по времени, сут.
5	H_0	Числовое	Мощность отложений от водоупора до уровня воды, м
6	KF	Числовое	Коэффициент фильтрации, м/сут.
7	L	Числовое	Расстояние до дополнительного водного объекта, м
8	HE	Числовое	Расстояние до водоупора от уровня воды дополнительного водного объекта, м
9	HC	Числовое	Средняя мощность отложений до водоупора, м
10	KLC	Числовое	Коэффициент уровнепроводности, м ² /сут.
11	NAME_TXT	Текстовое (20 символов)	Название расчета
12	KOM_TXT	Текстовое (20 символов)	Комментарий к расчету
13	PR_END	Логическое	Признак выполнения расчета (да или нет)

Таблица 6

**Чистый дисконтированный доход (ЧДД) и дисконтированный индекс доходности (ИД)
разработки и внедрения информационного обеспечения прогнозирования подтопления**

Год расчета	Ставка дисконтирования, %	Чистый дисконтированный доход	Дисконтированный индекс доходности
1	4	-44169	0,16
2	4	-17461,4	0,45
3	4	5325,4	0,91
4	4	24625,6	1,29
5	4	40830,8	1,61

84

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

6

2021



Заключение. Разработка и внедрение информационного обеспечения прогнозирования подтопления территорий Саратовского Левобережья позволит добиться существенного повышения качества прогнозирования и окупится уже на 4-й год эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веригин Н.Н., Брага П.А. Методические рекомендации по расчетам подпора грунтовых вод, подтопления земель и потерь воды на фильтрацию в районах каналов и водохранилищ. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1980. – 44 с.
2. Гармонов И.В., Колобов И.Б., Крашин И.И. Прогноз влияния равнинных водохранилищ на подпор, ресурсы и запасы подземных вод. – М.: Наука, 1984. – 157 с.
3. Корсак В.В., Кравчук А.В., Прокопец Р.В., Чуркина К.И., Бабуков И.Х. Пилотный проект единого информационно-аналитического портала управления мелиоративным комплексом саратовской области // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 12. – С. 94–99.
4. Корсак В.В., Прокопец Р.В., Курмангалиева Д.А., Афонин В.В. Проблемы орошения сельскохозяйственных угодий и их засоления в XXI веке // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 8. – С. 19–24.
5. Митюрева О.Н., Корсак В.В., Никишанов А.Н., Шориков Ю.А. Алгоритм прогнозирования подтопления земель Саратовской области // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики: сб. статей Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф. – Саратов, 2020. – С. 223–227.
6. Насыров Н.Н., Корсак В.В., Соколова Т.В. Геоинформационные технологии районирования ресурсов орошаемого земледелия // Научное обозрение. – 2013. – № 2. – С. 30–39.
7. О состоянии защиты населения и территории Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2019 г.: государственный доклад. – М.: МЧС России; ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2020. – 259 с.
8. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / А.Ж. Муттахов [и др.]; ВНИИ ВОДГЕО. – М.: Стройиздат, 1991. – 272 с. – (Справ. пособие к СНиП).
9. Пронько Н.А., Корсак В.В., Фалькович А.С. Методология создания системы мониторинга солевого

режима мелиорированных угодий Поволжья // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2011. – № 8. – С. 52–55.

10. Разумова Н.В., Спиридонов В.П., Таранов А.А. Опасные природные процессы и явления на территории Приволжского федерального округа России // Вестник Российской Академии естественных наук. – 2011. – Т. 11. – № 2. – С. 52–59.

11. РД-АПК 3.00.01.003-03 «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации сельскохозяйственных земель». – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200038940>.

12. СП 104.13330.2016 Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054204>.

13. Чуносов Д.В. Обоснование мероприятий по защите от подтопления урбанизированных территорий на основе теории риска: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008. – 26 с.

Корсак Виктор Владиславович, д-р с.-х. наук, проф. кафедры «Природообустройство, строительство и теплоэнергетика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Кравчук Алексей Владимирович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Природообустройство, строительство и теплоэнергетика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Прокопец Роман Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Природообустройство, строительство и теплоэнергетика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Митюрева Ольга Николаевна, аспирант, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Шориков Юрий Алексеевич, магистрант, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.
Тел.: (8452) 74-96-63.

Ключевые слова: информационное обеспечение; прогнозирование подтопления; база данных; алгоритм прогнозирования.

INFORMATION SUPPORT FOR FORECASTING THE FLOODING OF LEFT BANK TERRITORIES OF THE SARATOV REGION

Korsak Victor Vladislavovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the chair “Environmental Engineering, Construction and Heat Power Engineering”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Kravchuk Alexey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair “Environmental Engineering, Construction and Heat Power Engineering”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Prokopets Roman Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair “Environmental Engineering, Construction and Heat Power Engineering”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Mityureva Olga Nikolaevna, Post-graduate Student, “Environmental Engineering, Construction and Heat Power Engineering”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Shorikov Yuri Alekseevich, Magistrand, “Environmental Engineering, Construction and Heat Power Engineering”

ing’, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: information supply; forecasting of flooding; database; forecasting algorithm.

The article presents the results of research on the creation of information support for predicting flooding of the territories of the Saratov Left Bank region, which includes a database of data necessary for calculations, consisting of 14 relational files, including reference books, normative files and files of source data; algorithms and computer programs forecasting. Flooding boundaries vectorization is carried out in the QGIS environment based on the exported forecast results and digital elevation model. Development and implementation of the proposed information support will provide an improvement in the quality of forecasts and will pay off in 4 years of operation.

