



# ЭРОЗИЯ ПОЧВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

## SOIL EROSION AND RIVER CHANNEL PROCESSES

№ 4

октябрь – декабрь

No. 4

October – December 2025

**СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК: «Ведущие научные школы  
в области изучения эрозионных и русловых процессов»  
ЧАСТЬ 1**

Журнал освещает вопросы исследования:

- теоретических и экспериментальных механизмов эрозионных и русловых процессов;
- проявления эрозии и русловых процессов в различных природных и природно-антропогенных условиях;
- формирования и движения речных наносов, их геохимических и экологических проявлений;
- исследования эффективности различных средств борьбы с эрозией;
- управления русловыми процессами и регулирования русел рек;
- устьевых процессов;
- воздействия хозяйственной деятельности на эрозионно-русловые системы.

Журнал координируется Межвузовским научно-координационным советом по эрозионным, русловым и устьевым процессам и лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

## СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ ЖУРНАЛА «ЭРОЗИЯ ПОЧВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ»

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**С.Р. Чалов** — д-р геогр. наук, профессор кафедры гидрологии суши, заведующий научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия)

### ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**О.А. Макаров** — д-р биол. наук, заведующий кафедрой эрозии и охраны почв, факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия)

### ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

**М.М. Иванов** — канд. геогр. наук, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, старший научный сотрудник (г. Москва, Россия)

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д-р техн. наук **В.В. Беликов**, заведующий лабораторией численного гидродинамического моделирования, главный научный сотрудник, Институт водных проблем РАН (г. Москва, Россия)

канд. геогр. наук **Ю.Р. Беляев**, кафедра геоморфологии и палеогеографии, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, доцент (г. Москва, Россия)

д-р техн. наук **Г.Л. Гладков**, кафедра водных путей и водных изысканий, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, заведующий (г. Санкт-Петербург, Россия)

д-р геогр. наук **В.Н. Голосов**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р **А.К. Дарвишан**, кафедра управления водосборными бассейнами, факультет природных ресурсов, Университет Тарбиат Модарес, профессор (г. Тегеран, Иран)

д-р биол. наук **В.В. Демидов**, кафедра эрозии и охраны почв, факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор (г. Москва, Россия)

д-р геогр. наук **О.П. Ермолаев**, кафедра ландшафтной экологии, Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казанский федеральный университет, профессор (г. Казань, Россия)

канд. геогр. наук **А.П. Жидкин**, лаборатория эрозии почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, заведующий (г. Москва, Россия)

канд. геогр. наук **А.С. Завадский**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р **М. Златич**, факультет лесного хозяйства, Белградский университет, профессор (г. Белград, Сербия)

канд. техн. наук **В.М. Католиков**, отдел русловых процессов, Государственный гидрологический институт, заведующий (г. Санкт-Петербург, Россия)

д-р биол. наук **Г.С. Куст**, отдел физической географии и проблем природопользования, Институт географии РАН, главный научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р **Э. Латрубесс**, программа аспирантуры по экологическим наукам, Федеральный университет штата Гояс, профессор (г. Гояния, Бразилия)

д-р геогр. наук **Ф.Н. Лисецкий**, кафедра природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, профессор (г. Белгород, Россия)

д-р **Лю Шугуан**, кафедра гидротехники, факультет гражданского строительства, Университет Тунцзи, профессор (г. Шанхай, Китай)

д-р **М. Маеркер**, факультет наук о Земле и окружающей среде, Павийский университет, профессор (г. Павия, Италия)

д-р **Ж. Минелла**, кафедра почвоведения, Федеральный университет Санта-Марии, профессор (г. Санта-Мария, Бразилия)

чл.-корр. РАН, д-р геогр. наук **А.В. Панин**, отдел палеогеографии четвертичного периода, Институт географии РАН, заведующий, заместитель директора (г. Москва, Россия)

д-р **С.Х. Садеги**, кафедра управления водосборными бассейнами, факультет природных ресурсов, Университет Тарбиат Модарес, профессор (г. Тегеран, Иран)

д-р геогр. наук **А.Ю. Сидорчук**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р **В. Спалевич**, биотехнический факультет, Университет Черногории, профессор (г. Подгорица, Черногория)

канд. геогр. наук **А.С. Цыпленков**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, старший научный сотрудник (г. Москва, Россия)

д-р геогр. наук **Р.С. Чалов**, кафедра гидрологии суши, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор (г. Москва, Россия)

канд. с.-х. наук **А.Н. Червань**, кафедра почвоведения и ГИС, факультет географии и геоинформатики, Белорусский государственный университет, заведующий (г. Минск, Беларусь)

д-р **М. Шлетгерер**, институт гидробиологии и управления водными экосистемами, Университет природных ресурсов и наук о жизни, профессор (г. Вена, Австрия)

#### КООРДИНАТОР РЕДАКЦИИ

канд. геогр. наук **А.С. Чалова**, лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия)

#### РЕДАКТОР-КОРРЕКТОР **Р.М. Синаюк**

#### ОРИГИНАЛ-МАКЕТ И ДИЗАЙН **Л.В. Езерова**

ФОТО НА 1-й ОБЛОЖКЕ, стр. 1, 6 и 7: Река Анга. Фото **А.А. Кураковой**, научного сотрудника лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

#### АДРЕС РЕДАКЦИИ

119619 Россия, Москва, улица Лазенки 6-я, д. 2, стр. 15  
E-mail: [erpr@geogr.msu.ru](mailto:erpr@geogr.msu.ru)

**Сайт:** <https://journal.sediment.ru/>

#### УЧРЕДИТЕЛЬ

Общество с ограниченной ответственностью «Экспертная лаборатория «Гидроинформационные системы»

© Редколлегия журнала «Эрозия почв и русловые процессы» (составитель), 2025

© ООО «Экспертная лаборатория «Гидроинформационные системы», 2025

ISSN (PRINT) 3034-4638

Журнал основан в 2024 году  
Периодичность издания — 4 раза в год

**SOIL EROSION AND RIVER CHANNEL PROCESSES. M. – 2025. – No 4. – 112 p.**

The journal covers research on theoretical and experimental mechanisms of erosion and river channel processes, as well as the evolution of these processes in various natural and anthropogenic environments. It also explores the development of new methods for erosion mitigation applicable to multiple branches of the economy and examines the effectiveness of different erosion control measures. The journal is coordinated by the Interacademic Scientific Council for Erosion, Channel and Estuarine Processes.

**EDITORIAL BOARD**

EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr. S.R. Chalov

DEPUTY EDITOR

Prof. Dr. O.A. Makarov

EXECUTIVE SECRETARY

Dr. M.M. Ivanov

**EDITORIAL BOARD**

Dr. V.V. Belikov, Dr. Yu.R. Belyaev, Prof. Dr. R.S. Chalov, Dr. A.N. Chervan, Dr. A.K. Darvishan (Iran),  
Prof. Dr. V.V. Demidov, Prof. Dr. O.P. Ermolaev, Prof. Dr. G.N. Gladkov, Dr. V.N. Golosov, Dr. G.S. Kust,  
Prof. Dr. E. Latrubesse (Brazil), Prof. Dr. F.N. Lisetsky, Prof. Dr. M. Maerker (Italy), Prof. Dr. J.P.G. Minella (Brazil),  
Dr. A.V. Panin, Prof. Dr. S.H. Sadeghi (Iran), Prof. Dr. M. Schletterer (Austria), Prof. Dr. Liu Shuguang (China),  
Dr. A.Yu. Sidorchuk, Prof. Dr. V. Spalevic (Montenegro), Dr. A. Tsyplenkov, Dr. A.S. Zavadsky,  
Dr. A.P. Zhidkin, Prof. Dr. M. Zlatic (Serbia)

BOARD COORDINATOR

Dr. A.S. Chalova

EDITOR-PROOFREADER R.M. Sinaiuk

ORIGINAL LAYOUT AND DESIGN L.V. Ezerova

PHOTO ON THE 1<sup>ST</sup> COVER & pages 1, 6, 7 – Anga River. Photo by Anna Kurakova, researcher at the  
N.I. Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and River Channel Processes, Faculty of Geography,  
Lomonosov Moscow State University

**POSTAL ADDRESS**

119619 Russia, Moscow, 6<sup>th</sup> Lazenki Street, 2, Bldg. 15

E-mail: [eprp@geogr.msu.ru](mailto:eprp@geogr.msu.ru)

<https://journal.sediment.ru/>

FOUNDER

Limited Liability Company “Expert Laboratory  
“Hydroinformational Systems”

© Editorial Board of the journal “Soil Erosion and River  
Channel Processes” (issuer), 2025

© Expert Laboratory “Hydroinformational Systems” LLC, 2025

**ISSN (PRINT) 3034-4638**

The journal was founded in 2024  
Published 4 times a year

## ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

4-й номер за 2025 год журнала «Эрозия почв и русловые процессы» открывается тремя **статьями специального выпуска «Ведущие научные школы в области изучения эрозионных и русловых процессов» (часть 1)**. Статьи, представленные в этом номере, посвящены трем крупнейшим школам исследования эрозии почв, сформированным на базе кафедры эрозии и охраны почв почвенного факультета МГУ, лаборатории эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева и Научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН и его филиалов — опытных станций (названия современные). Рассказывается об этапах развития этих научных коллективов, о деятельности ведущих ученых, начиная от основоположников — Н.А. Качинского, А.М. Панкова и А.С. Козменко соответственно.

Также в 4-й номер вошла статья А.Ю. Сидорчука и соавторов, посвященная палеорусловедению, исследования в области которого развиваются на базе географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Института географии РАН; и статья Э.А. Гаевой, представляющая исследования стока талых и ливневых вод в Аксайском районе Ростовской области.

В номере 1 за 2026 год готовится к печати часть 2 специального выпуска «Ведущие научные школы в области изучения эрозионных и русловых процессов» со статьями о деятельности лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева и отдельно — о школе географического русловедения; об исследованиях воднотранспортных вузов в области русловых процессов для обеспечения судоходства.

*Профессор кафедры гидрологии суши, д.г.н.,  
заведующий НИЛ эрозии почв и русловых процессов  
им. Н.И. Маккавеева*

*С.Р. Чалов*



# СОДЕРЖАНИЕ

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК: «ВЕДУЩИЕ НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ ЭРОЗИОННЫХ И РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ» (ЧАСТЬ 1)

- О.А. Макаров, В.В. Демидов, П.С. Шульга, Д.В. Карпова, Д.Р. Абдулханова,  
Н.А. Марахова** **8**  
РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НА КАФЕДРЕ  
ЭРОЗИИ И ОХРАНЫ ПОЧВ ФАКУЛЬТЕТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ  
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА имени  
М.В. ЛОМОНОСОВА
- А.П. Жидкин** **22**  
ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ  
ЛАБОРАТОРИИ ЭРОЗИИ ПОЧВ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА  
ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА
- А.Т. Барабанов, В.И. Панов, А.В. Выпова, А.В. Кулик, О.А. Гордиенко,  
А.Д. Митрофанова, С.В. Петров** **40**  
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ  
А.С. КОЗМЕНКО – Г.П. СУРМАЧА
- 
- А.Ю. Сидорчук, О.К. Борисова, А.В. Панин** **58**  
МОРФОЛОГИЯ РУСЕЛ И ВОДНЫЙ РЕЖИМ БОЛЬШИХ РЕК  
РАВНИН СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ 14–18 ТЫСЯЧ ЛЕТ НАЗАД
- Э.А. Гаевая** **99**  
ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК ТАЛЫХ И ЛИВНЕВЫХ ВОД  
С ТЕРРИТОРИИ СКЛОНОВЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ  
СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ  
КЛИМАТА



# CONTENTS

## SPECIAL ISSUE: «LEADING SCIENTIFIC SCHOOLS IN THE FIELD OF STUDYING EROSION AND RIVER CHANNEL PROCESSES» (PART 1)

- O.A. Makarov, V.V. Demidov, P.S. Shulga, D.V. Karpova,  
D.R. Abdulkhanova, N.A. Marakhova** 8  
DEVELOPMENT OF THE MAIN SCIENTIFIC DIRECTIONS AT  
THE DEPARTMENT OF EROSION AND SOIL PROTECTION,  
FACULTY OF SOIL SCIENCE, LOMONOSOV MOSCOW STATE  
UNIVERSITY
- A.P. Zhidkin** 22  
SOIL EROSION LABORATORY OF V.V. DOKUCHAEV SOIL  
SCIENCE INSTITUTE
- A.T. Barabanov, V.I. Panov, A.V. Vyöpova, A.V. Kulik, O.A. Gordienko,  
A.D. Mitrofanova, S.V. Petrov** 40  
THE DEVELOPMENT HISTORY OF KOZMENKO-SURMACH  
SCIENTIFIC EROSION STUDIES SCHOOL
- 
- A.Yu. Sidorchuk, O.K. Borisova, A.V. Panin** 58  
MORPHOLOGY OF RIVER CHANNELS AND WATER REGIME OF  
LARGE RIVERS OF THE PLAINS OF NORTHERN EURASIA  
14–18 THOUSANDS YEARS AGO
- E.A. Gaevaya** 99  
SURFACE RUNOFF OF MELTWATER AND STORMWATER FROM  
THE TERRITORY OF ORDINARY SLOPING CHERNOZEMS OF  
THE NORTHERN AZOV REGION IN A CHANGING CLIMATE

УДК 551.506.3

## РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НА КАФЕДРЕ ЭРОЗИИ И ОХРАНЫ ПОЧВ ФАКУЛЬТЕТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

О.А. Макаров<sup>1,2,3\*</sup>, В.В. Демидов<sup>1</sup>, П.С. Шульга<sup>1</sup>, Д.В. Карпова<sup>1</sup>,  
Д.Р. Абдулханова<sup>1</sup>, Н.А. Марахова<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения  
<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Учебно-опытный почвенно-экологический центр (УО ПЭЦ)

<sup>3</sup>Аграрный центр МГУ (Евразийский центр по продовольственной безопасности)

\**oa\_makarov@mail.ru*

Поступила в редакцию 16.11.2025

После доработки 24.11.2025

Принята к публикации 04.12.2025

**Аннотация.** На кафедре эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова сложились основные научные направления — «Оценка эрозионных процессов в почвах различных биоклиматических зон», «Изучение основ устойчивого землепользования» и «Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель». В статье рассматривается развитие существующих направлений научных исследований с определенной корректировкой их названий и проблематики («Анализ и моделирование эрозионных процессов в почвах, в том числе в условиях изменения климата», «Развитие концепции устойчивого землепользования в контексте проблемы продовольственной безопасности», «Экология, экономика и социально-демографические особенности землепользования в условиях изменения климата и деградации почв»), а также новых направлений, имеющих некоторую исследовательскую историю на кафедре, — «Разработка принципов охраны почв», «Разработка методологических основ рекультивации земель». Особенно подробно рассмотрена необходимость создания целостной концепции охраны почв. Эта концепция должна включать в себя и формулирование правовых (законодательных и нормативно-методических) принципов охраны почв, и определение критериев оценки почв, при которых их охрана может осуществляться, и разработку систем охраны почв, прежде всего, от проявления эрозионных процессов, в различных биоклиматических и административно-территориальных условиях.

**Ключевые слова:** деградация почв, охрана почв, устойчивое землепользование, эколого-экономическая оценка, рекультивация земель

DOI: <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-4-4-8-21>

### ВВЕДЕНИЕ

Начало исследованиям почвоведов Московского университета в области эрозии почв было положено доктором геолого-минералогических наук, профессором, заведующим кафедрой физики и мелиорации почв Н.А. Качинским в 70-х гг. прошлого века. Под его руководством А.Д. Воронин, М.С. Кузнецов (рис. 1) и В.Я. Григорьев приступили к изучению противоэрозионной стойкости почв. На основе изучения зависимости интенсивности смыва почвы от скорости движения воды был разработан новый

метод определения количественного показателя противоэрозионной стойкости почв — критической (размывающей) скорости потока, а также исследована связь противоэрозионной стойкости почв с другими их свойствами: водопрочностью структуры, сцеплением, плотностью сложения, гранулометрическим составом, содержанием корней растений и некоторыми другими. Также приблизительно в это же время по инициативе Н.А. Качинского начинаются исследования противодефляционной



**Рис. 1.** Михаил Сергеевич Кузнецов — основатель кафедры эрозии и охраны почв, профессор, академик РАН

**Fig. 1.** Mikhail Sergeevich Kuznetsov is the founder of the Department of Soil Erosion and Conservation, a professor, and an academician of the Russian Academy of Sciences

стойкости почв. Исследования в этом направлении были проведены Г.П. Глазуновым на примере предкавказских черноземов.

Таким образом, на кафедре физики и мелиорации почв сложился коллектив сотрудников, активно работающих по эрозионной тематике, организационно оформленный как лаборатория эрозии почв. В этот же период почвоведы из лаборатории эрозии почв совместно с сотрудниками проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ начинают исследования по прогнозированию и предупреждению ирригационной эрозии почв на территории второй очереди освоения Каршинской степи в Узбекистане. Экспериментальное изучение размывающей для почвы скорости потока, проведенное непосредственно в поливных бороздах, позволило получить результаты, которые были использованы для разработки почвозащитной технологии полива хлопчатника. Основные результаты работы этого периода вошли в монографию М.С. Кузнецова «Противоэрозионная стойкость почв» (1981), где сформулированы положения теории противоэрозионной стойкости почв и результаты ее практического применения при разработке почвозащитной технологии полива по бороздам.

Одновременно на кафедре общего почвоведения по проблеме эрозии почв работало несколько сотрудников под руководством В.П. Лидова. Основными направлениями их работы были классификация, методы картографирования и изучение свойств эродированных дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны РСФСР (Смоленская, Калининская,

Новгородская и Псковская области). Результаты этой работы вошли в монографию В.П. Лидова «Процессы водной эрозии в зоне дерново-подзолистых почв» (1981). Позднее этими исследованиями были охвачены также Костромская и Ярославская области, на территории которых были составлены карты почвенно-эрозионного районирования (В.С. Родионов, В.К. Орлова).

Таким образом, на факультете почвоведения к началу 80-х гг. существовали все необходимые предпосылки для создания кафедры эрозии почв. Кафедра была образована в январе 1982 г., заведующий кафедрой — профессор (с 2013 г. — академик РАН) Михаил Сергеевич Кузнецов.

Сотрудники созданной кафедры продолжили начатые ранее исследования и приступили к разработке ряда новых направлений. В частности, были значительно расширены и углублены исследования противоэрозионной стойкости почв сероземной зоны и разработка почвозащитной технологии полива по бороздам на территории второй очереди освоения Джизакской степи в Узбекистане, в Оби-Киикской долине Таджикистана, изучение почв массивов перспективного орошения на юго-западе Туркмении, а также горных коричневых почв Тянь-Шаня. В результате этих исследований были разработаны методы оценки и картографирования опасности ирригационной эрозии почв при поливе по бороздам, усовершенствована схема расчета элементов почвозащитной технологии полива, количественно оценена эффективность ряда мероприятий и разработаны критерии их оптимизации. Результаты работ вошли в монографии М.С. Кузнецова, В.Я. Григорьева и А.Д. Ким «Ирригационная эрозия почв сероземной зоны и ее предупреждение» (1985), М.С. Кузнецова и О.А. Базарова «Противоэрозионная стойкость горных и предгорных почв Таджикистана» (1993), а также в коллективную монографию «Прогнозирование и предупреждение эрозии почв при орошении» (Григорьев, Краснов, Кузнецов и др., 1992).

В дальнейшем исследования противоэрозионной стойкости почв и разработка элементов почвозащитной технологии полива были продолжены на оросительных системах Молдавии и Украины применительно к орошению дождеванием. Эти исследования проводились совместно с сотрудниками Института почвоведения и фотосинтеза АН СССР. В результате были созданы модель безнапорного впитывания воды почвой и методика расчета допустимой нормы полива дождеванием. Полученные результаты вошли в монографию М.С. Кузнецова, В.Я. Григорьева и К.Ю. Хана «Ирригационная эрозия почв и ее предупреждение при поливах дождеванием» (1990). Работы этого периода

были отмечены первой премией им. В.Р. Вильямса (М.С. Кузнецов, В.Я. Григорьев, А.Д. Ким, 1991), а также золотой, серебряной и пятью бронзовыми медалями ВДНХ.

В 1992 г. по заданию Департамента «Главчернобыль» Минсельхоза России сотрудники кафедры (М.С. Кузнецов, А.Д. Флесс, Е.Н. Есафова) совместно с коллегами из ГНПЦ «Росэкология» (М.М. Пушкарева и др.), Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (Л.Ф. Литвин) и Института почвоведения и фотосинтеза РАН (В.В. Демидов) начали исследования по горизонтальной миграции цезия-137 Чернобыльского выброса на юго-западе Брянской области и юге Тульской области. Эти исследования позволили развить новое направление в научно-исследовательской работе кафедры — почвенно-экологическое. Было установлено, что процессы водной эрозии играют важную, а в некоторых случаях — ведущую роль в миграции и аккумуляции цезия-137 в склоновых агроландшафтах. В связи с этим был разработан комплекс противоэрозионных мероприятий, предотвращающий вторичное загрязнение почв радионуклидами. Результаты этой работы изложены в одной из глав коллективной монографии «Структурно-функциональная роль почвы в биосфере», отв. ред. Г.В. Добровольский (1999), а также в монографии М.С. Кузнецова и В.В. Демидова «Эрозия почв лесостепной зоны центральной России: моделирование, предупреждение и экологические последствия» (2002).

В этот же период совместно с кафедрой общегеологического почвоведения и лабораторией эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ проводились экспедиционные работы на полуострове Ямал. Здесь исследовались эрозионные процессы и противоэрозионная стойкость тундровых почв, что особенно важно в связи с оценкой опасности эрозии почв, нарушенных при разведке и освоении месторождений углеводородов. Результаты этой работы отражены в коллективной монографии «Эрозионные процессы центрального Ямала» (Сидорчук, Баранов и др., 1999), а также в одной из глав коллективной монографии «Дегградация и охрана почв», гл. ред. Г.В. Добровольский (2002). М.С. Кузнецов, В.В. Демидов и В.Я. Григорьев участвовали также в экспедиционных работах, проводимых в Китае и Польше.

В 2010 г. изменилось название кафедры: она стала называться «кафедра эрозии и охраны почв». Корректировка названия была обусловлена значительной актуальностью проблемы охраны почв от различных видов дегградации, загрязнения и захламления. Изучение охраны почв потребовало

пристального внимания специалистов кафедры к вопросам восстановления (рекультивации) дегградированных, загрязненных и захламленных почв. Кроме того, проблема охраны почв тесно связана с вопросами природоохранного и земельного законодательства России.

С 2015 г. на кафедре эрозии и охраны почв, в связи с приходом нового заведующего — доктора биологических наук, профессора Г.С. Куста, стали проводиться исследования опустынивания и дегградации земель, устойчивости почв к различным природным и антропогенным воздействиям. В 2017 г. кафедру возглавил доктор биологических наук, профессор О.А. Макаров, областью научных интересов которого являются экономическая и эколого-экономическая оценка дегградации почв и земельных ресурсов, экологическое нормирование состояния почв и окружающей природной среды. Начиная с 2020 г. по настоящее время, госбюджетная кафедральная тема (совместно с кафедрой радиоэкологии и экотоксикологии) — «Научно-практические основы и информационное обеспечение устойчивого управления почвенно-земельными ресурсами европейской части РФ», руководитель доктор сельскохозяйственных наук Д.В. Карпова.

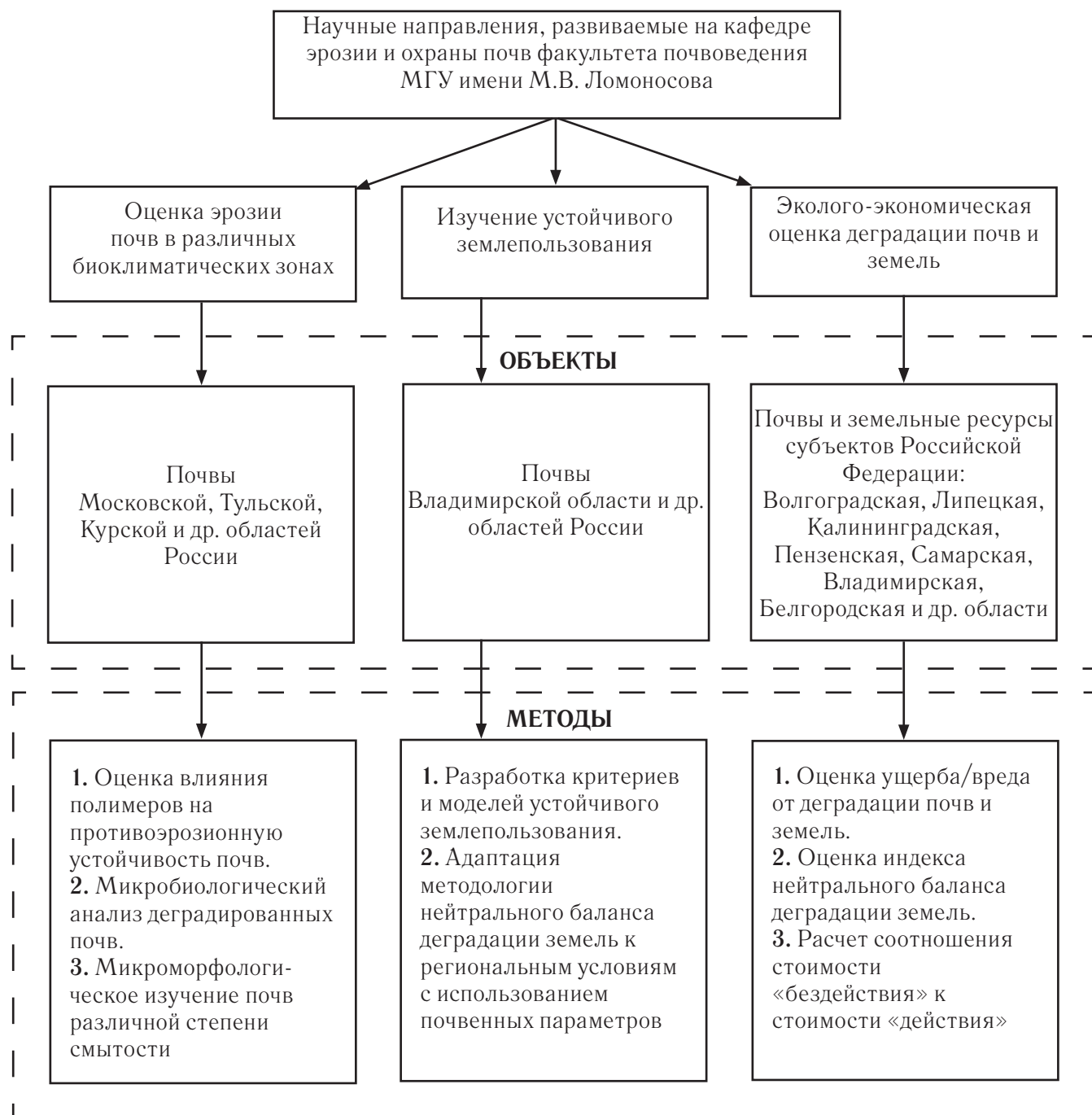
Таким образом, на кафедре эрозии и охраны почв проводятся исследования, затрагивающие различные разделы почвоведения (эрозиоведение, нормирование, рекультивация почв) и смежные естественнонаучные дисциплины (экология, геоморфология, биогеохимия, ландшафтоведение, экономика природопользования, экономика сельского хозяйства). В то же время, при всей своей многоплановости, проводимые исследования направлены на разработку концепции устойчивого землепользования в различных биоклиматических условиях при разных видах антропогенного воздействия на территорию.

Целью настоящей статьи является оценка современного состояния и перспектив развития научных направлений на кафедре эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова.

### **НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ ЭРОЗИИ И ОХРАНЫ ПОЧВ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ**

В настоящее время на кафедре эрозии и охраны почв активно развиваются следующие научные направления (рис. 2):

*1. Оценка эрозии почв в различных биоклиматических зонах (отв. — профессор, доктор биологических наук В.В. Демидов).*



**Рис. 2.** Научные направления на кафедре эрозии и охраны почв в настоящее время

**Fig. 2.** Research areas at the Department of Soil Erosion and Conservation

- В рамках указанного направления:
- были составлены и опубликованы в «Национальном атласе почв Российской Федерации» (2011) карты «Распространение эрозии почв» (М.С. Кузнецов, А.Н. Каштанов, М.С. Маречек) и «Региональные типы систем противоэрозионных мероприятий» (М.С. Кузнецов, В.В. Демидов, Е.Н. Есафова, В.Р. Хрисанов);
  - дан прогноз развития эрозионных процессов в центральных районах европейской части России в связи с глобальным изменением климата (А.И. Белолобцев, Д.С. Булгаков, Г.А. Ларионов, Г.В. Данилов, В.В. Демидов «Влияние изменения климата на экологическую устойчивость агроландшафтов» (Глобальные изменения климата..., 2009));

- разработан новый метод определения допустимых экологических пределов эрозии почв на основе данных по их гумусовому состоянию и балансу гумуса;
- предложен принципиально новый подход к математическому описанию процессов снеготаяния, времени оттаивания мерзлой почвы и интенсивности ее смыва в агроландшафтах лесостепной зоны центра России;
- разработана схема расчета и картографирования интенсивности горизонтальной миграции и аккумуляции со смытой почвой цезия-137 Чернобыльского выброса и ее конкретные значения для западной части Брянской и южной части Тульской областей;
- изучено микроморфологическое строение и микробиологические свойства почв различной степени смытости;
- изучается влияние полимеров-структурообразователей на изменение противоэрозионной и противодефляционной устойчивости почв различных биоклиматических зон.

За последнее время были опубликованы монографии и учебные пособия, посвященные тематике эрозии почв, — В.В. Демидов «Закономерности формирования эрозионных процессов при снеготаянии в лесостепной зоне центральной России: Теория и экспериментальные исследования» (2016), М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов «Эрозия и охрана почв» (2019), В.В. Демидов, О.А. Макаров «Физические основы эрозии почв: механизм, закономерности проявления и прогнозирования» (2021).

По эрозиоведческой проблематике была успешно защищена диссертационная работа О.О. Плотниковой (2021) — «Роль транспортирующей способности водных потоков в изменении некоторых свойств поверхностных горизонтов эродированных черноземов типичных (на примере Курской области)».

2. *Изучение основ устойчивого землепользования (отв. — ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук Д.В. Карпова).*

При проведении исследований в пределах этого направления:

- разработаны критерии, показатели и модели устойчивого землепользования ряда регионов России и СНГ;
- проводится диагностика нейтральной («нулевой») деградации земель по почвенным параметрам.

По проблематике исследования устойчивого землепользования вышли достаточно подробные работы (Строков и др., 2020; Макаров и др., 2023). В этих исследованиях было установлено особое значение показателя соотношения стоимости

«бездействия» и стоимости «действия», используемого в методике экономики деградации земель, как одного из основных критериев устойчивости землепользования. Данный показатель учитывает величину ущерба от деградации, характеризует прогноз на проведение рекультивационных мероприятий для определенного горизонта планирования и предусматривает определение выполнения почвами и землями экосистемных сервисов (услуг).

3. *Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель (отв. — заведующий кафедрой, профессор О.А. Макаров).*

Указанное направление включило в себя следующие виды работ:

- разработаны методологические принципы эколого-экономической оценки деградации земель на различных иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства государства (на каждом уровне применяется свой набор методов исследования экономики деградации земель) (Эколого-экономическая оценка деградации земель, 2016):

а) на локальном уровне (уровень отдельного хозяйства, главным образом, аграрного);

б) на региональном уровне (уровень субъекта Российской Федерации), уровне федерального округа, уровне страны;

- созданы новые направления экономики деградации земель:

1) концепция «справедливой стоимости» земель (стоимости, которая, в первую очередь, зависит от таких базовых свойств земельного участка, как плодородие почв и, в меньшей степени, определяется колебаниями рынка спекулятивного характера) («Справедливая» экономика землепользования, 2018);

2) положение о «нулевой почве» и «собственной стоимости» почв;

3) социально-экономическая оценка деградации земель.

За последнее время были опубликованы следующие монографии и учебные пособия, посвященные проблематике эколого-экономической оценки деградации почв и земель:

- Макаров О.А., Савватеева О.А., Каманина И.З., Нисифорова И.А. «Проблемы оценки экологических рисков для окружающей среды и населения» (2014) (в учебном пособии рассмотрены различные подходы к оценке экологического риска в мире и России, представлена математическая основа, законодательная, нормативно-методическая база и информационная поддержка оценки риска);

- «Эколого-экономическая оценка деградации земель» под редакцией Яковлева А.С., Макарова О.А., Киселева С.В., Молчанова Э.Н. и др. (2016) (в монографии изложены методологические принципы эколого-экономической оценки деградации земель. Эти принципы апробированы для различных уровней административно-территориальной организации России – отдельных агрохозяйств, субъектов Федерации, федеральных округов, страны в целом);
- «Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России» под редакцией Макарова О.А. (2022) (в монографии изложены различные концепции эколого-экономической оценки земель и результаты их апробации для различных регионов европейской территории России – Белгородской, Волгоградской, Калининградской, Пензенской, Самарской и Владимирской областей);
- Макаров О.А. «Почвы, почвенные ресурсы и устойчивое землепользование: алгоритмы исследования и оценки» (2023) (в монографии обобщены материалы, позволяющие перейти от понимания и оценки качества почв и почвенных ресурсов, их классификации и описания процессов, в них происходящих, к принципам и показателям устойчивого землепользования, опирающегося прежде всего на почвенные характеристики);
- Макаров О.А. «Особенности развития и функционирования почв» (2025) (в монографии предложены подходы, позволяющие под другим углом зрения взглянуть как на устоявшиеся проблемы почвенной науки, так и на относительно новые разработки).

По «оценочной» тематике были успешно защищены диссертационные работы Е.В. Бондаренко (2016) – «Опыт учета экосистемных сервисов почв при оценке деградации земель (на примере УО ПЭЦ МГУ)», А.А. Макарова (2017) – «Опыт оценки риска химического загрязнения городских почв Московского региона», Н.Р. Крючкова (2022) – «Анализ деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения субъекта Российской Федерации методами эколого-экономической оценки и моделирования эрозионных процессов (на примере Волгоградской области)», М.Р. Чекина (2024) «Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель региона с применением различных методических подходов (на примере Пензенской области)», В.Н. Куделина (2024) «Эколого-экономическая оценка последствий от деградации почв и изменения климата для сель-

ского хозяйства региона Черноземья (на примере Липецкой области)».

Исследования по отмеченным направлениям не только проводятся в соответствии с госбюджетной кафедральной темой, но и финансируются в рамках выполнения различных грантов, в частности:

- «Контроль деградации земель в Евразийском регионе» (грант РНФ 14-38-00023, 2014–2016 гг.), «Научно-техническое сотрудничество Россия – АСЕАН по разработке и применению инновационных технологий земледелия с целью повышения устойчивости агроэкологических систем» (Договор между МГУ и вузами стран АСЕАН 35/04-07-2017, 2017–2019 гг.);
- «Эколого-экономическая оценка последствий для сельского хозяйства России от деградации земель и изменения климата» (грант РФФИ 18-010-00775 А, 2018–2020 гг.);
- «Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России» (грант РФФИ 19-29-05021 мк, 2019–2022 гг.);
- «Оценка ущерба от водной эрозии на территории Волгоградской области» (грант РФФИ 20-34-90164 Аспиранты, 2020–2022 гг.);
- «Разработка и применение инновационных почвенных мелиорантов для повышения продуктивности и предотвращения деградации аридных земель» (грант Министерства науки и высшего образования РФ 075-15-2022-1212, 2022–2024 гг.).

Тематика указанных грантов РНФ и РФФИ в значительной степени связана с эколого-экономической оценкой деградации почв и земель субъектов Российской Федерации (научное направление, возглавляемое профессором О.А. Макаровым). Грант Министерства науки и высшего образования РФ посвящен изучению влияния полимеров-структурообразователей на повышение противоэрозионной и противодефляционной устойчивости почв (научное направление, возглавляемое профессором В.В. Демидовым).

Сотрудниками кафедры получено 19 патентов на лабораторное оборудование и способы рекультивации земель.

Разумеется, проводимые научные исследования являются фундаментом для постоянного повышения уровня преподавания: преподаватели кафедры эрозии и охраны почв ведут ряд общих учебных курсов при подготовке студентов в бакалавриате по двум направлениям обучения – «Эрозия и охрана почв», «Оценка земельных ресурсов», «Почвозащитные системы земледелия и охраны почв», «Гидрология». Для студентов 1-го курса обоих направлений сотрудниками кафедры проводится общефакультетская

«Учебная почвенно-экологическая практика по устойчивому землепользованию», а также учебная практика «Физика почв с основами эрозии почв» для студентов 2-го курса, обучающихся по направлению «Почвоведение». Кроме того, в последнее время для студентов, обучающихся по профилю подготовки «Физика, мелиорация и эрозия почв» сотрудниками кафедры были созданы и внедрены в учебный процесс новые спецкурсы: «“Справедливая” экономика землепользования» (Макаров О.А.), «Актуальные проблемы охраны почв» (Макаров О.А.).

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ ЭРОЗИИ И ОХРАНЫ ПОЧВ

*Научно-практические основы и информационное обеспечение устойчивого управления почвенно-земельными ресурсами европейской части РФ.*

Проблематика планируемых научных исследований в ближайшие годы в значительной степени будет определяться уже упоминавшейся темой, выполняемой в рамках государственного задания МГУ на кафедре эрозии и охраны почв. На данный момент в ходе этих исследований уже выполнены следующие работы:

- выбраны тестовые регионы, расположенные в различных биоклиматических зонах европейской части территории Российской Федерации (Владимирская, Московская, Курская и Белгородская области), и дана характеристика основных процессов деградации почв, протекающих в этих регионах;
- показано, что среди методов эколого-экономической оценки деградации почв и земель самыми распространенными являются определение ущерба/вреда от деградации, подсчет экономической эффективности/выгоды действия/бездействия Й. фон Брауна, определение показателя нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ);
- проанализированы имеющиеся и предложены собственные показатели/индикаторы деградации почв и земель в природных и антропогенных ландшафтах;
- проведена цифровизация результатов мониторинговых исследований процессов деградации почв в различных регионах европейской части РФ (что позволит дополнить имеющееся информационное обеспечение устойчивого управления почвенно-земельными ресурсами);
- разработаны основные требования к созданию технологий устойчивого землепользования в условиях

различных видов деградации почвенно-земельных ресурсов регионов ЕЧ РФ;

- разработана методология оценки продовольственной безопасности как одного из важнейших разделов концепции устойчивого управления почвенно-земельными ресурсами.

В настоящее время по теме госзадания проводится анализ взаимосвязи продовольственной безопасности и деградации земель в центральных регионах России, обобщаются передовые практики землепользования, предотвращающие деградацию почв и земель в различных регионах ЕЧ РФ, и разрабатываются рекомендации по устойчивому управлению земельными ресурсами.

*Охрана почв.*

Отдельным направлением научного развития кафедры предполагается сделать разработку целостной концепции **охраны почв**. Указанная концепция должна включать в себя и формулирование правовых (законодательных и нормативно-методических) принципов охраны почв, и определение критериев оценки почв, при которых их охрана должна осуществляться, и разработку систем охраны почв (прежде всего — от проявления эрозионных процессов) в различных биоклиматических и административно-территориальных условиях. Действующий в настоящее время Земельный кодекс Российской Федерации (№ 136-ФЗ от 25 октября 2001 г., ред. от 28.04.2023) содержит главу II «Охрана земель», где в статье 12 определены следующие цели охраны земель: «предотвращение и ликвидация загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения земель и почв и иного негативного воздействия на земли и почвы, а также обеспечение рационального использования земель, в том числе для восстановления плодородия почв на землях сельскохозяйственного назначения и улучшения земель».

Как известно, проект Федерального закона «Об охране почв» был подготовлен еще в начале 90-х гг. XX в., однако, к сожалению, до сих пор данный закон не принят, что является следствием нежелания Правительства Российской Федерации ставить под удар сложившуюся ресурсно-имущественную систему землепользования («Эколого-экономическая оценка деградации земель», 2016). По нашему мнению, не получается в одном документе (в Земельном кодексе) совмещать функцию ресурсно-имущественного управления и функцию беспристрастной оценки, контроля и охраны почв и земель, поэтому необходим самостоятельный закон в рамках природоохранного законодательства, охраняющий почву и землю в качестве самостоятельных компонентов окружающей среды.

*Разработка критериев оценки почв с целью их охраны.*

Для создания действенных систем охраны почв необходимо использовать эффективные механизмы оценки качества почвенного покрова. Разумеется, почвоохранные мероприятия необходимо проводить не только в случае резкого ухудшения качества почв (существенных масштабов их деградации, загрязнения, захламления, порчи), но и в целях предотвращения негативных процессов, происходящих с почвами.

Как известно, при оценке различных типов деградации земель применяются модели, описывающие степень «отклонения» от недеградированного (эталонного) состояния (Методические рекомендации..., 1996) и позволяющие определить необратимость причиненных окружающей природной среде (экосистемам) нарушений. Так, в практике природо- и землепользования нередко используется логистическая модель зависимости качества экосистем, в том числе почв, от нагрузки на них (Бельгибаев, 1970; Федоров, 1976; Свирежев, 1987; Гродзинский, 1988; Светлосанов, 1990; Виноградов и др., 1993; Основы ландшафтной экологии..., 1998), проявляющая себя в форме S-образной кривой и описываемая функцией Ричардса (формула (1)):

$$Y(X) = a1 / (1 + b \exp(- |\alpha + \beta X|)) + a0, \quad (1)$$

где  $a1$  — координата верхней асимптоты логистической кривой ( $X_{max}$ );  $a0$  — координата нижней асимптоты ( $X_{min}$ ), коэффициенты  $b$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  описывают положение и крутизну логистической кривой.

Выделение различных качественных состояний (допустимых, предельно допустимых, критических и катастрофических нарушений) экосистемы/почвы, связанных с изменением нагрузки на нее, предлагается проводить путем анализа соответствующих производных, позволяющих четко определить точки перегиба на графике. Так, максимум первой производной  $dY/dX$  соответствует центру зоны кризиса или зоны критических нарушений, максимум второй производной  $d^2Y/dX^2$  — центру зоны риска или предельно допустимых нарушений, а минимум последней — центру зоны экологического бедствия или зоны необратимых нарушений. Таким образом, максимум второй производной определяет зону обратимых нарушений в экосистеме/почве, максимум первой производной — зону предельно допустимых нарушений, после которой наступает зона критических (необратимых) нарушений — определяется минимумом второй производной. Для разбиения на ранги качества почв могут быть использованы критические точки на

других аппроксимирующих функциях (Пуассона, Фишера и др.), причем кроме анализа мономерных функций могут быть использованы методы анализа многомерных функций распределения.

Разработанные в Российской Федерации шкалы деградации земель в значительной степени отражают логистическую зависимость качества экосистем/почв от нагрузки на них. Так, пятибалльные шкалы деградации, представленные в Методических рекомендациях (1996), существенным образом соответствуют пятиуровневой критериальной таблице оценки состояния окружающей природной среды, построенной в соответствии с логистической моделью (Макаров, 2002), из чего следует, что только первые две градации почв (недеградированные и слабодеградированные), соответствующие экологической норме (Яковлев, Евдокимова, 2011), могут считаться обратимыми и способными к самовосстановлению при условии снятия причины деградации. Выстраивать целостную систему охраны и восстановления почв необходимо, в первую очередь, для среднедеградированных, сильнодеградированных и очень сильно деградированных (разрушенных) почв, которые нарушены необратимо, и их восстановление до недеградированного состояния возможно только при участии человека (проведение рекультивации). То есть достаточным условием для прекращения деградации почв и земель, состояние которых находится в пределах экологической нормы по оцениваемым параметрам, будет являться устранение факторов (причин) деградационных явлений.

При разработке систем охраны почв, прежде всего, от проявления эрозионных процессов, необходимо соблюдение принципов комплексности, зональности, охвата противоэрозионными мероприятиями одновременно всей территории водосбора, стадийности проектирования (Эрозия и охрана почв, 2019).

Комплексность — принцип проектирования, предполагающий взаимную увязку мероприятий, направленных на предупреждение разных видов эрозии: при дождях, снеготаянии, орошении, а также дефляции. Кроме того, проектные предложения по противоэрозионным и противодефляционным мероприятиям должны быть увязаны с проектами по мелиорации и с инженерными проработками по рекультивации, строительству дорог, водохозяйственных объектов, производственных и жилых массивов, т. е. задачи предупреждения эрозии почв решаются только в комплексе с другими задачами землеустройства.

Зональность, или необходимость полного учета местных условий — важнейший принцип проекти-

рования мероприятий по охране почв от эрозии. Только полный учет факторов эрозии позволяет правильно подобрать мероприятия по ее предупреждению, поскольку одни и те же мероприятия в разных природных условиях приводят к разным результатам. Природная зональность делает невозможным применение единых для всех зон типовых решений при проектировании противоэрозионных и противодефляционных мероприятий.

Стадийность проектирования мероприятий по охране почв от эрозии определяется в процессе ведения этого вида проектирования (как и всех других видов землеустроительного проектирования) методом последовательных приближений: от общего к частному. Выделяются следующие стадии:

- первая стадия — составление генеральной схемы противоэрозионных и противодефляционных мероприятий на область, край или республику (субъект РФ);
- вторая стадия — составление схемы противоэрозионных и противодефляционных мероприятий на ряд взаимосвязанных хозяйств, расположенных на одном водосборе или в одном районе дефляции;
- третья стадия — составление проекта противоэрозионных и противодефляционных мероприятий на отдельное хозяйство;
- четвертая стадия — разработка проектно-сметной документации на строительство гидротехнических сооружений и создание лесных насаждений.

Каждая из стадий проектирования предназначена для решения специфических для нее задач, выполняется особыми методами и отличается специфичным составом.

#### *Рекультивация земель.*

Современная система менеджмента почвенных и земельных ресурсов предполагает использование эффективных технологий их воспроизводства и рекультивации. В основу разработки систем рекультивации земель могут быть положены различные способы искусственного воздействия той или иной природы на земельные ресурсы: физические (механические, электрические и т. п.), физико-химические, химические, биологические. В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 10 июля 2018 г. № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» рекультивация земель «...должна обеспечивать восстановление земель до состояния, пригодного для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, путем обеспечения соответствия качества земель нормативам качества окружающей среды и требо-

ваниям законодательства Российской Федерации в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в отношении земель сельскохозяйственного назначения также нормам и правилам в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения, но не ниже показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения...». Соответственно встает задача, особенно на первом этапе рекультивации земель, когда проводятся технические мероприятия (которые могут предусматривать планировку, формирование откосов, снятие поверхностного слоя почвы, нанесение плодородного слоя почвы, устройство гидротехнических и мелиоративных сооружений, захоронение токсичных вскрышных пород, возведение ограждений, а также проведение других работ, создающих необходимые условия для предотвращения деградации земель), — разработать инновационные технологии, направленные, в том числе, на увеличение противоэрозионной/противодефляционной устойчивости поверхности почв и грунтов.

В связи с этим предполагается, что разработка методологических основ рекультивации земель может стать одним из перспективных направлений научного развития кафедры эрозии и охраны почв, тем более что, как было отмечено ранее, сотрудниками кафедры уже получены патенты на проведение различных способов рекультивации земель.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени на кафедре эрозии и охраны почв, созданной в 1982 г. группой сотрудников лаборатории эрозии почв кафедры физики и мелиорации почв и кафедры общего почвоведения, сложились основные научные направления — «Оценка эрозионных процессов в почвах различных биоклиматических зон» (отв. — профессор, докт. биол. наук В.В. Демидов), «Изучение основ устойчивого землепользования» (отв. — вед. науч. сотр., докт. с.-х. наук Д.В. Карпова) и «Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель» (отв. — заведующий кафедрой, профессор О.А. Макаров). Исследования в рамках указанных направлений проводятся на высоком уровне; по результатам исследований подготовлены и изданы монографии и статьи в ведущих отечественных журналах, сотрудниками кафедры получены патенты на лабораторное оборудование для исследования эрозионных процессов и способы рекультивации земель, почвы которых подвержены эрозии.

Предлагается развитие как существующих направлений научных исследований с определен-

ной корректировкой их названий и проблематики («Анализ и моделирование эрозионных процессов в почвах, в том числе в условиях изменения климата», «Развитие концепции устойчивого землепользования в контексте проблемы продовольственной безопасности», «Экология, экономика и социально-демографические особенности землепользования в условиях изменения климата и деградации почв»), так и новых направлений, имеющих некоторую исследовательскую историю на кафедре, — «Разработка принципов охраны почв», «Разработка методологических основ рекультивации земель». Особенно подробно рассмотрена необходимость создания целостной концепции охраны почв. Указанная концепция должна включать в себя и формулирование правовых (законодательных и нормативно-методических) принципов охраны почв, и определение критериев оценки почв, при которых их охрана может осуществляться, и разработку систем охраны почв, прежде всего от проявления эрозионных процессов, в различных биоклиматических и административно-территориальных условиях.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова (тема № АААА-А21-121012290189-8 «Научно-практические основы и информационное обеспечение устойчивого управления почвенно-земельными ресурсами европейской части РФ»).

### ЛИТЕРАТУРА

Белолобцев А.И., Булгаков Д.С., Ларионов Г.А. и др. Влияние изменения климата на экологическую устойчивость агроландшафтов // Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России / под ред. А.Л. Иванова, В.И. Кирюшина. М., 2009. С. 233–363.

Бельгибаев М.Е., Долгилевич М.И. О предельно допустимой величине эрозии почв по накоплению гумуса // Труды ВНИАЛМИ. Волгоград. 1970. Вып. 1(61). С. 239–258.

Бондаренко Е.В. Опыт учета экосистемных сервисов при оценке деградации земель (на примере УО ПЭЦ МГУ): автореф. дис. ... канд. биол. наук по специальностям 03.02.13 «Почвоведение» и 03.02.08 «Экология». М., 2016.

Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС, 1998, 418 с.

Виноградов Б.В., Орлов В.А., Снакин В.В. Биотические критерии зон экологического бедствия

России // Изв. РАН. Сер. география. 1993. № 5. С. 77–89.

Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург : Наука : Урал. изд. фирма. 1994. 279 с.

Григорьев В.Я., Краснов С.Ф., Кузнецов М.С. и др. Прогнозирование и предупреждение эрозии почв при орошении / Отв. ред. В.Я. Григорьев. М., 1992. 205 с.

Гродзинский М.Д. Эмпирические и формально-статистические методы определения областей допустимых и нормальных состояний // Научные подходы к определению норм нагрузок на ландшафты. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 215–224.

Демидов В.В. Закономерности формирования эрозионных процессов при снеготаянии в лесостепной зоне центральной России: Теория и экспериментальные исследования. Новосибирск, 2016. 60 с.

Демидов В.В., Макаров О.А. Физические основы эрозии почв: механизм, закономерности проявления и прогнозирования. М., 2021. 192 с.

Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 31.07.2025) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025).

Крючков Н.Р. Анализ деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения субъекта Российской Федерации методами эколого-экономической оценки и моделирования эрозионных процессов: на примере Волгоградской области: дис. ... канд. биол. наук: 1.5.15. (03.02.08); 1.5.19. (03.02.13). М., 2022. 284 с.

Куделин В.Н. Эколого-экономическая оценка последствий от деградации почв и изменения климата для сельского хозяйства региона Черноземья (на примере Липецкой области): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 1.5.15 – Экология (Биологические науки). М. 2024. 26 с.

Кузнецов М.С. Противоэрозионная стойкость почв. М., 1981. 135 с.

Кузнецов М.С., Базаров О.А. Противоэрозионная стойкость горных и предгорных почв Таджикистана. Душанбе, 1993.

Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв: учебник для вузов. М.: Юрайт, 2019. 387с.

Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия как основной фактор деградации почв // Деградация и охрана почв / Под ред. Г.В. Добровольского. М., 2002. С. 455–482.

Кузнецов М.С., Григорьев В.Я., Ким А.Д. Иригационная эрозия почв сероземной зоны и ее предупреждение / отв. ред. М.Н. Заславский. М.: Наука. 1985. 62 с.

Кузнецов М.С., Григорьев В.Я., Хан К.Ю. Ирригационная эрозия почв и ее предупреждение при поливах дождеванием. М., 1990. 118 с.

Кузнецов М.С., Демидов В.В. Эрозия почв лесостепной зоны центральной России: моделирование, предупреждение и экологические последствия. М.: ПОЛТЕКС, 2002. 183 с.

Кузнецов М.С., Добровольская Н.Г., Флесс А.Д. и др. Проблемы эрозии и охраны почв // Структурно-функциональная роль почвы в биосфере / Г.В. Добровольский. М.: ГЕОС, 1999. С. 216–227.

Лидов В.П. Процессы водной эрозии в зоне дерново-подзолистых почв. М., 1981. 168 с.

Макаров А.А. Опыт оценки риска химического загрязнения городских почв Московского региона: дис. ... канд. биол. наук : 03.02.13 : 03.02.08. М., 2017. 151 с.

Макаров О.А. Особенности развития и функционирования почв. М.: ООО МАКС Пресс, 2025. 174 с.

Макаров О.А. Почвы, почвенные ресурсы и устойчивое землепользование: алгоритмы исследования и оценки. М.: ООО МАКС Пресс. 2023. 156 с.

Макаров О.А. Состояние почв как объект экологического нормирования окружающей природной среды. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2002. 46 с.

Макаров О.А., Абдулханова Д.Р., Балджиев А.С. и др. Экономика деградации земель и продовольственная безопасность регионов России / Под ред. О.А. Макарова. М.: МАКС Пресс. 2022. 320 с.

Макаров О.А., Кузнецов М.С., Карпова Д.В. и др. Экологические и экономические показатели устойчивого землепользования/устойчивого управления земельными ресурсами // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2023. № 1. С. 84–92.

Макаров О.А., Савватеева О.А., Каманина И.З. и др. / Проблемы оценки экологических рисков для окружающей среды и населения. М.: МАКС Пресс. 2014. 288 с.

Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель / А.С. Яковлев, В.Н. Шептухов, Ю.М. Матвеев и др. // Сборник нормативных актов «Охрана почв». М.: РЭФИА. 1996. С. 174–198.

Национальный атлас почв Российской Федерации / Под общ. ред. С.А. Шобы. М., 2011. 631 с.

Плотникова О.О. Роль транспортирующей способности водных потоков в изменении некоторых свойств поверхностных горизонтов эродированных черноземов типичных: на примере Курской области : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.13. М., 2020. 134 с.

Постановление Правительства РФ от 10.06.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консер-

вации земель» [Электронный ресурс]: Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201807120031> (Дата обращения: 01.10.2025).

Светлосанов В.А. Устойчивость и стабильность природных экосистем (модельный аспект). Т. 8. Теоретические и общие вопросы географии. Сер. Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ РАН, 1990. 200 с.

Свирижев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: Наука, 1987. 368 с.

Сидорчук А.Ю., Баранов А.В. и др. Эрозионные процессы Центрального Ямала. СПб., 1999. 349 с.

Строков А.С., Макаров О.А., Цветнов Е.В. и др. Методология управления устойчивым развитием сельского хозяйства в условиях деградации почв и изменения климата // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 5. С. 82–87.

Чекин М.Р. Эколого-экономическая оценка деградации почв и земель региона с применением различных методических подходов (на примере Пензенской области): специальность 1.5.15 «Экология», 1.5.11 «Микробиология»: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2024. 27 с.

Шоба С.А., Макаров О.А., Абдулханова Д.Р. и др. «Справедливая» экономика землепользования: учебное пособие / Под ред. С.А. Шобы и О.А. Макарова. М.: МАКС Пресс, 2018. 196 с.

Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Экологическое нормирование почв и управление их качеством // Почвоведение. 2011. № 5. С. 582–596.

Яковлев А.С., Макаров О.А., Киселев С.В. и др. Эколого-экономическая оценка деградации земель. М.: МАКС Пресс, 2016. 256 с.

## ОБ АВТОРАХ

Макаров Олег Анатольевич, докт. биол. наук, зав. кафедрой эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: oa\_makarov@mail.ru

Демидов Валерий Витальевич, докт. биол. наук, профессор кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: demidov951@yandex.ru

Карпова Дина Вячеславовна, докт. с.-х. наук, вед. науч. сотр. кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: karpovad@mail.ru

Шульга Павел Станиславович, канд. с.-х. наук, доцент кафедры эрозии и охраны почв факультета

почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,  
e-mail: shulgaps@yandex.ru

Абдулханова Дина Рафиковна, мл. науч. сотр.  
кафедры эрозии и охраны почв факультета почво-  
ведения МГУ имени М.В. Ломоносова,  
e-mail: dina\_msu@mail.ru

Марахова Нина Алексеевна, инженер 1 кате-  
гории кафедры радиоэкологии и экотоксикологии  
факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломо-  
носова

## DEVELOPMENT OF THE MAIN SCIENTIFIC DIRECTIONS AT THE DEPARTMENT OF EROSION AND SOIL PROTECTION, FACULTY OF SOIL SCIENCE, LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

O.A. Makarov<sup>1,2,3\*</sup>, V.V. Demidov<sup>1</sup>, P.S. Shulga<sup>1</sup>, D.V. Karpova<sup>1</sup>, D.R. Abdulkhanova<sup>1</sup>,  
N.A. Marakhova<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science; Educational Experimental Soil  
and Ecological Center

<sup>3</sup> Agricultural Center of Moscow State University (Eurasian Center for Food Security)

\*oa\_makarov@mail.ru

**Annotation.** The Department of Erosion and Soil Protection of the Faculty of Soil Science of Lomonosov Moscow State University has developed the main research areas – «Assessment of erosion processes in soils of various bioclimatic zones», «Study of the basics of sustainable land use» and «Ecological and economic assessment of soil and land degradation». It is proposed to develop both existing areas of scientific research with a certain adjustment of their names and issues («Analysis and modeling of erosion processes in soils, including in the conditions of climate change», «Development of the concept of sustainable land use in the context of food security», «Ecology, economics and socio-demographic features of land use in the context of climate change and soil degradation»), as well as new areas with some research history at the department — «Development of principles of soil protection», «Development of methodological foundations of land recultivation». The need to create a integrated concept of soil protection is considered in particular detail. This concept should include the formulation of legal (legislative and regulatory-methodological) principles of soil protection, and the definition of criteria for assessing soils under which their protection can be carried out, and the development of soil protection systems, primarily from the manifestation of erosion processes, in various bioclimatic and administrative-territorial conditions.

**Keywords:** soil degradation, soil protection, sustainable land use, ecological and economic assessment, land recultivation

### ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Lomonosov Moscow State University (topic no. ААААА-А21-121012290189-8 “Scientific and practical foundations and information support for sustainable management of soil and land resources in the European part of the Russian Federation”).

### REFERENCES

Belgibaev M.E., Dolgilevich M.I. On the Maximum Permissible Value of Soil Erosion Based on Humus Accumulation. Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Microbiology and

Mineralogy. Volgograd, 1970, issue 1(61). P. 239–258. (In Russ.)

Belolyubtsev A.I., Bulgakov D.S., Larionov G.A., et al. The Impact of Climate Change on the Ecological Sustainability of Agricultural Landscapes // Global Climate Change and Risk Forecasts in Russian Agriculture / edited by A.L. Ivanov, V.I. Kiryushin. Moscow, 2009. P. 233–363. (In Russ.)

Bondarenko E.V. Experience in Taking Ecosystem Services into Account in Land Degradation Assessment (using the UO PRC MSU as an Example): Abstract of a PhD Dissertation in Biology. Sciences in the specialties 03.02.13 «Soil Science» and 03.02.08 «Ecology». Moscow, 2016. (In Russ.)

- Chekin M.R. Ecological and Economic Assessment of Soil and Land Degradation in a Region Using Various Methodological Approaches (using the Penza Region as an Example): specialty 1.5.15. «Ecology», 1.5.11 - Microbiology: abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences. Moscow, 2024. 27 p. (In Russ.)
- Demidov V.V. Patterns of Formation of Erosion Processes during Snowmelt in the Forest-Steppe Zone of Central Russia: Theory and Experimental Research. Novosibirsk, 2016. 60 p. (In Russ.)
- Demidov V.V., Makarov O.A. Physical Foundations of Soil Erosion: Mechanism, Patterns of Manifestation, and Forecasting. Moscow, 2021. 192 p. (In Russ.)
- Grigoriev V.Ya., Krasnov S.F., Kuznetsov M.S. et al. Forecasting and Prevention of Soil Erosion during Irrigation. Ed. V.Ya. Grigoriev, Moscow, 1992. 205 p. (In Russ.)
- Grodzinsky M.D. Empirical and Formal-Statistical Methods for Determining Areas of Permissible and Normal States // Scientific Approaches to Determining Landscape Load Standards. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1988. P. 215–224. (In Russ.)
- Kryuchkov N.R. Analysis of Soil and Agricultural Land Degradation in a Subject of the Russian Federation Using Ecological and Economic Assessment and Erosion Process Modeling Methods: Using the Volgograd Region as an Example: Dissertation ... by Candidate of Biological Sciences: 1.5.15. (February 3, 2008); 1.5.19. (February 3, 2013). Moscow, 2022. 284 p. (In Russ.)
- Kudelin V.N. Ecological and Economic Assessment of the Impact of Soil Degradation and Climate Change on Agriculture in the Chernozem Region (using the Lipetsk Region as an Example): Abstract of a Candidate of Biological Sciences Dissertation: 1.5.15 - Ecology (Biological Sciences). Moscow, 2024. 26 p. (In Russ.)
- Kuznetsov M.S. Erosion Resistance of Soils. Moscow, 1981. 135 p. (In Russ.)
- Kuznetsov M.S., Bazarov O.A. Erosion Resistance of Mountain and Foothill Soils of Tajikistan. Dushanbe, 1993. (In Russ.)
- Kuznetsov M.S., Demidov V.V. Soil Erosion in the Forest-Steppe Zone of Central Russia: Modeling, Prevention, and Environmental Consequences. Moscow: POLTEX, 2002. 183 p. (In Russ.)
- Kuznetsov M.S., Dobrovolskaya N.G., Fless A.D., et al. Problems of Soil Erosion and Protection // Structural and Functional Role of Soil in the Biosphere / G.V. Dobrovolsky. Moscow: GEOS, 1999. P. 216–227. (In Russ.)
- Kuznetsov M.S., Glazunov G.P. Erosion as the Main Factor of Soil Degradation // Soil Degradation and Protection / Ed. G.V. Dobrovolsky. Moscow, 2002. P. 455–482. (In Russ.)
- Kuznetsov M.S., Glazunov G.P. Soil Erosion and Protection: A Textbook for Universities, Moscow: Yurait, 2019. 387 p. (In Russ.)
- Kuznetsov M.S., Grigoriev V.Ya., Khan K.Yu. Irrigation Soil Erosion and Its Prevention with Sprinkler Irrigation. Moscow, 1990. 118 p. (In Russ.)
- Kuznetsov M.S., Grigoriev V.Ya., Kim A.D. Irrigation Soil Erosion in the Serozem Zone and Its Prevention / Ed. M.N. Zaslavsky. Moscow: Nauka. 1985. 62 p. (In Russ.)
- Land Code of the Russian Federation of October 25, 2001, No. 136-FZ (as amended on July 31, 2025) (as amended and supplemented, effective September 1, 2025). (In Russ.)
- Lidov V.P. Water Erosion Processes in the Sod-Podzolic Soil Zone. Moscow, 1981. 168 p. (In Russ.)
- Makarov A.A. Experience in Assessing the Risk of Chemical Pollution of Urban Soils in the Moscow Region: Dissertation of Cand. of Biol. Sciences: 03.02.13: 03.02.08. Moscow, 2017. 151 p. (In Russ.)
- Makarov O.A., Abdulkhanova D.R., Baldzhiev A.S. et al. Land Degradation Economics and Food Security in Russian Regions / Edited by O.A. Makarov. Moscow: MAKS Press. 2022. 320 p. (In Russ.)
- Makarov O.A. Features of soil development and functioning. Moscow: MAKS Press. 2025. 174 p. (In Russ.)
- Makarov O.A. Soil Condition as an Object of Environmental Standardization of the Natural Environment. Abstract of a Dissertation for the Degree of Doctor of Biological Sciences. Moscow, 2002. 46 p. (In Russ.)
- Makarov O.A. Soils, Soil Resources, and Sustainable Land Use: Research and Evaluation Algorithms. Moscow: MAKS Press. 2023. 156 p. (In Russ.)
- Makarov O.A., Kuznetsov M.S., Karpova D.V. et al. Environmental and Economic Indicators of Sustainable Land Use / Sustainable Land Resources Management // Use and Protection of Natural Resources in Russia. 2023. No. 1. P. 84–92. (In Russ.)
- Makarov O.A., Savvateeva O.A., Kamanina I.Z., et al. Problems of Assessing Environmental Risks for the Environment and the Population. Moscow: MAKS Press. 2014. 288 p. (In Russ.)
- Methodological Recommendations for Identifying Degraded and Contaminated Lands / A.S. Yakovlev, V.N. Sheptukhov, Yu.M. Matveyev, et al. // Collection of Regulatory Acts on Soil Protection. Moscow: REFIA. 1996. P. 174–198. (In Russ.)
- National Atlas of Soils of the Russian Federation / General editor S.A. Shoba. Moscow, 2011. 631 p. (In Russ.)
- Plotnikova O.O. The Role of the Transport Capacity of Water Flows in Changing Some Properties of Surface Horizons of Typical Eroded Chernozems: Using the

Kursk Region as an Example: Dissertation ... Candidate of Biological Sciences: 03.02.13. Moscow, 2020. 134 p. (In Russ.)

RF Government Resolution of June 10, 2018, No. 800, On Conducting Land Reclamation and Conservation [Electronic resource]: Official Internet Portal of Legal Information.

URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201807120031> (Accessed: October 1, 2025). (In Russ.)

Shoba S.A., Makarov O.A., Abdulkhanova D.R., et al. «Fair» Economics of Land Use: a study guide / Ed. by S.A. Shoba and O.A. Makarov. Moscow: MAKS Press, 2018. 196 p. (In Russ.)

Sidorchuk A.Yu., Baranov A.V. et al. Erosion Processes of Central Yamal. St. Petersburg, 1999. 349 p. (In Russ.)

Strokov A.S., Makarov O.A., Tsvetnov E.V. et al. Methodology for Managing Sustainable Agricultural Development in the Context of Soil Degradation and Climate Change // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2020. Vol. 34. No. 5. P. 82–87. (In Russ.)

Svetlosanov V.A. Sustainability and Stability of Natural Ecosystems: (Model Aspect). Vol. 8. Theoretical and General Issues of Geography. Series: Results of Science and Technology. Moscow: VINITI RAS. 1990. 200 p. (In Russ.)

Svirezhev Yu.M. Nonlinear Waves, Dissipative Structures, and Ecological Disasters. Moscow: Nauka. 1987. 368 p. (In Russ.)

Vinogradov B.V. Fundamentals of Landscape Ecology. Moscow: GEOS, 1998, 418 p. (In Russ.)

Vinogradov B.V., Orlov V.A., Snakin V.V. Biotic Criteria of Ecological Disaster Zones in Russia // Izvestiya RAS. Geography Series. 1993. No. 5. P. 77–89. (In Russ.)

Vorobeychik E.L., Sadykov O.F., Farafontov M.G. Environmental Standardization of Technogenic Pollu-

tion of Terrestrial Ecosystems. Yekaterinburg: Nauka : Ural. izd. firma. 1994. 279 p. (In Russ.)

Yakovlev A.S., Evdokimova M.V. Ecological standardization of soil and soil quality control // Eurasian Soil Science. 44, 534–546 (2011). (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1064229311050152>

Yakovlev A.S., Makarov O.A., Kiselev S.V., et al. Environmental and Economic Assessment of Land Degradation. Moscow: MAKS Press. 2016. 256 p. (In Russ.)

## ABOUT THE AUTHORS

Makarov Oleg Anatolyevich, Doctor of Biol. Sciences, Head of the Department of Erosion and Soil Protection, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, e-mail: [oa\\_makarov@mail.ru](mailto:oa_makarov@mail.ru)

Demidov Valery Vitalievich, Doctor of Biol. Sciences, Professor of the Department of Erosion and Soil Protection, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, e-mail: [demidov951@yandex.ru](mailto:demidov951@yandex.ru)

Karpova Dina Vyacheslavovna, Doctor of Agricultural Sciences, ved. sci. Associate Professor of the Department of Erosion and Soil Protection, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, e-mail: [karpovad@mail.ru](mailto:karpovad@mail.ru)

Shulga Pavel Stanislavovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Erosion and Soil Protection, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, e-mail: [shulgaps@yandex.ru](mailto:shulgaps@yandex.ru)

Abdulkhanova Dina Rafikovna, junior researcher of the Department of Erosion and Soil Protection, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, e-mail: [dina\\_msu@mail.ru](mailto:dina_msu@mail.ru)

Marakhova Nina Alekseevna, 1st Category Engineer, Department of Radioecology and Ecotoxicology, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University

УДК 631.6.02.

## ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ ЭРОЗИИ ПОЧВ ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА

А.П. Жидкин

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия*

*zhidkin@esoil.ru*

Поступила в редакцию 14.11.2025

После доработки 17.12.2025

Принята к публикации 18.12.2025

**Аннотация.** Лаборатория эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева была организована в 1932 г. по инициативе видного почвовед А.М. Панкова. Она стала специализированной лабораторией, положившей начало систематическому изучению эрозии почв, и длительное время была центром координации противоэрозионных исследований в стране. Широкая научная и организационная деятельность лаборатории мобилизовала внимание ученых и практиков на решение этой важной проблемы. В 1936 г. в Москве под руководством Д.Г. Виленского и А.М. Панкова было проведено Первое Всесоюзное совещание по борьбе с эрозией почв. Богатая история лаборатории связана с известными учеными: А.М. Панковым, академиком С.С. Соболевым, академиком А.Н. Каштановым, И.Д. Брауде, П.С. Трегубовым, А.С. Извековым и другими. С момента организации лаборатории на первый план выступили вопросы учета и картографирования эродированных почв, оценка специфики и степени выраженности эрозионных процессов, районирование территорий, подверженных эрозии. Для изучения этих проблем организовывались многочисленные комплексные почвенно-эрозионные исследования в европейской части России и союзных республиках. С 1960-х гг. наряду с экспедиционными исследованиями начали проводиться многолетние стационарные наблюдения за эрозией почв, направленные на разработку противоэрозионных мероприятий. В статье рассмотрены результаты более чем 90-летней деятельности лаборатории: установление географических закономерностей распространения водной и ветровой эрозии почв; составление почвенно-эрозионных карт СССР и отдельных регионов; разработка и внедрение почвозащитных мероприятий, направленных на борьбу с водной и ветровой эрозией почв и восстановление плодородия эродированных почв. В последние годы исследования ведутся на основе сочетания традиционных и современных методов диагностики и моделирования эрозионных процессов, разрабатываются новые подходы к оценке и управлению рисками деградации земель от эрозии почв.

**Ключевые слова:** эрозия почв, поверхностный сток, деградация почв, Почвенно-эрозионная карта России, противоэрозионные мероприятия, контурное земледелие

DOI: <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-4-4-22-39>

### СТАНОВЛЕНИЕ И НАЧАЛО РАБОТЫ ЛАБОРАТОРИИ ЭРОЗИИ ПОЧВ

В 1931 г. в Почвенном институте им. В.В. Докучаева по инициативе известного почвовед профессора Александра Матвеевича Панкова была организована группа, а затем в 1932 г. первая в СССР специализированная лаборатория по изучению эрозии почв и борьбе с ней.

Александр Матвеевич Панков имел большой опыт научно-исследовательской работы в различных частях страны:

в 1908 г. окончил Санкт-Петербургский университет по естественному отделению физико-математического факультета;

в 1908—1910 гг. принимал участие в экспедициях по изучению земель Сибири под руководством К.Д. Глинки;



Александр Матвеевич Панков (1883–1936)  
Alexander Matveevich Pankov (1883–1936)

1912–1918 гг. — был директором Почвенно-го музея Докучаевского почвенного комитета в г. Санкт-Петербурге;

в 1911–1918 гг. проводил почвенные исследования на территории Воронежской губернии в качестве сотрудника Докучаевского почвенного комитета;

в 1918–1920 гг. работал профессором и деканом агрономического факультета Нижегородского сельскохозяйственного института;

в 1920–1921 гг. заведовал почвенным отделом Воронежской опытной станции;

в 1921–1930 гг. работал профессором Горского сельскохозяйственного института в г. Владикавказе, проводил почвенные исследования на Северном Кавказе для мелиоративных целей;

с 1930 г. работал в Почвенном институте им. В.В. Докучаева.

А.М. Панков с 1925 г. являлся членом Международной ассоциации почвоведов; в 1935 г. был председателем комиссии по эрозии почв, советником секции Международной ассоциации почвоведов. В 1935 г. был удостоен Академией наук степени доктора почвоведения без защиты диссертации. А.М. Панковым было опубликовано более 100 работ (Панков, 1911, 1921а, 1921б, 1926а, 1926б, 1927, 1928, 1930а, 1930б, 1934а, 1934б, 1935а, 1935б и другие).

С момента организации лаборатории на первый план выступили вопросы учета и картографирования эродированных почв, оценка специфики и степени выраженности эрозионных процессов, районирование территорий, подверженных эрозии.

Широкая научная и организационная деятельность лаборатории мобилизовала внимание ученых и практиков на решение этой важной проблемы.

По результатам работы в 1936 г. в Москве под руководством Д.Г. Виленского и А.М. Панкова было проведено Первое Всесоюзное совещание по борьбе с эрозией почв. Материалы опубликованы в виде сборника «Борьба с эрозией почв» (1938). Определяющими содержание сборника явились вопросы количественного учета эродированных и эродируемых почв, сохранения в почве влаги для культурных растений и необходимости использования удобрений на эродированных почвах.

После смерти А.М. Панкова в 1936 г. лабораторию в 1938 г. возглавил Сергей Степанович Соболев.

С.С. Соболев в 1926 г. закончил лесной факультет Харьковского сельскохозяйственного института, а в дальнейшем активно занимался научно-практической деятельностью:

в 1926–1928 гг. работал инженером-таксатором в лесоустроительной партии;

в 1928–1932 гг. был заведующим подотделом мелиорации почвы при кафедре общего лесоводства, затем при кафедре почвоведения Харьковского сельскохозяйственного института;

в 1932–1934 гг. заведовал почвенной лабораторией и группой гидрогеологии во Всесоюзном научно-исследовательском институте лесного хозяйства и агролесомелиорации в г. Москве;

в 1935 г. ему была присвоена степень кандидата сельскохозяйственных наук по совокупности научных работ без защиты диссертации;

в 1943 г. защитил докторскую диссертацию, а в 1944 г. получил звание профессора;

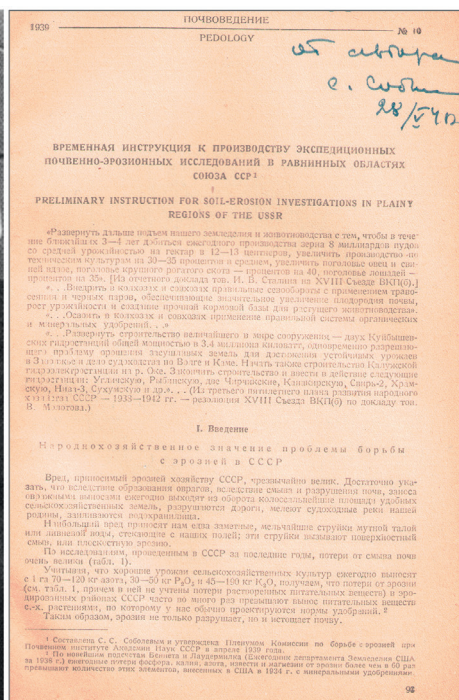
в 1938–1971 гг. заведовал лабораторией (отделом) эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева;

в 1971–1975 гг. был директором Почвенного института им. В.В. Докучаева. При этом в 1949–1980 гг. заведовал кафедрой почвоведения Московского лесотехнического института (филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана);

в 1960, 1967, 1971 гг. занимал пост вице-президента комиссии по эрозии суши Международного геофизического союза;

в 1964 г. был избран академиком ВАСХНИЛ.

Список научных трудов С.С. Соболева состоит примерно из 400 работ, в том числе 12 монографий и 14 карт, которые имеют важнейшее теоретическое и практическое значение (Соболев, 1948, 1950, 1960, 1961, 1963, 1965, 1968 и другие). Под его руководством защитили кандидатские и докторские диссертации около 30 человек.



Академик ВАСХНИЛ Сергей Степанович Соболев (1904–1980) и титульная страница «Временной инструкции...» (1939) с его автографом

Academician Sergei Stepanovich Sobolev (1904–1980) and the title page of the “Temporary Instruction...” (1939) with his autograph

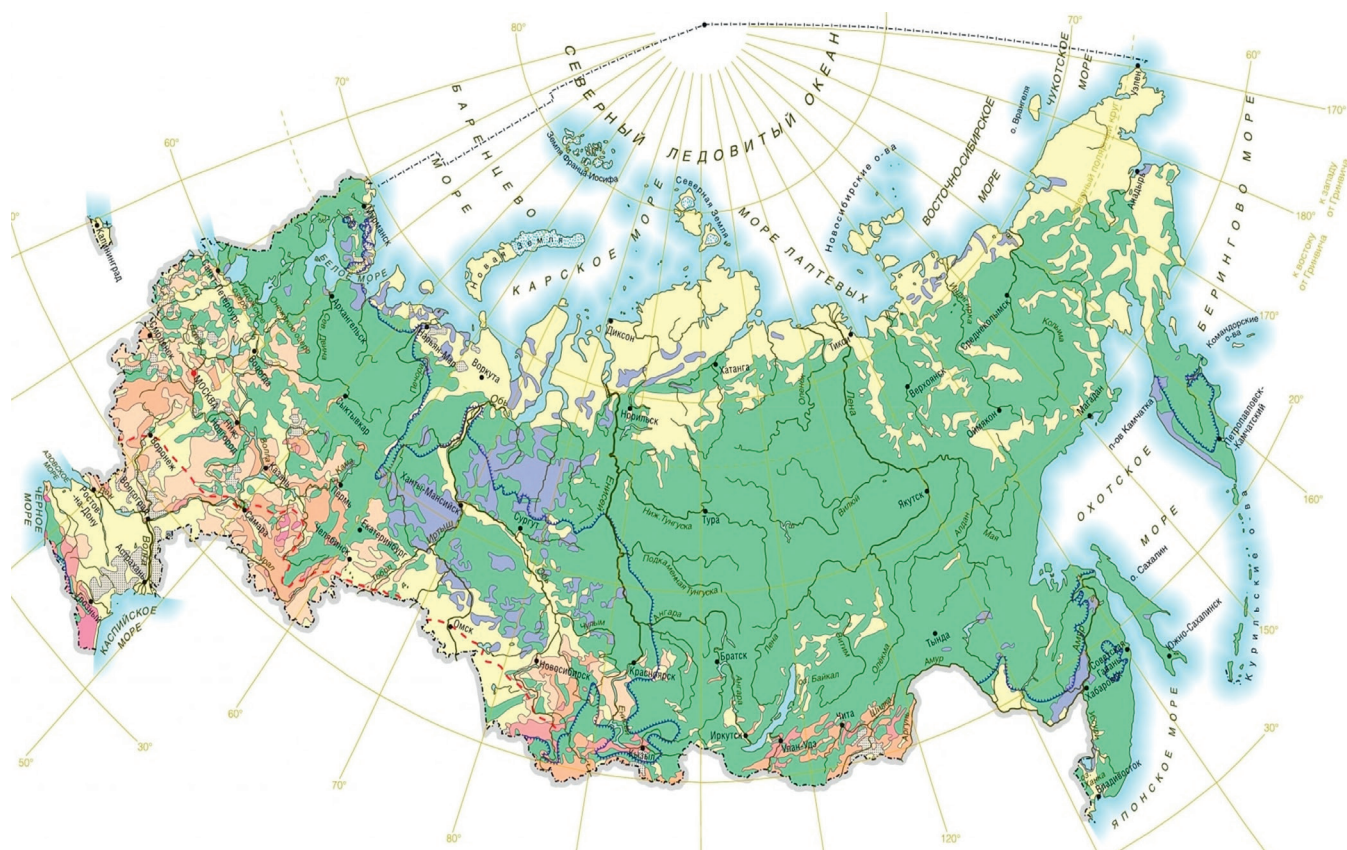
В период с 1939 по 1973 г. под руководством С.С. Соболева сотрудниками лаборатории доктором наук В.Б. Гуссаком, кандидатами наук Т.Ф. Якубовым, Г.А. Пресняковой, В.П. Козловым, С.И. Пономаревой, Е.С. Фирсовой, И.Д. Брауде, Т.Ф. Антроповым и другими были проведены комплексные почвенно-эрозионные исследования европейской части СССР, а также союзных республик. Изучены географические закономерности распространения водной и ветровой эрозии почв на территории всей страны, впервые составлена серия почвенно-эрозионных карт СССР и отдельных регионов.

В годы Великой Отечественной войны, после эвакуации в Ташкент развернулись работы по проведению почвенных исследований на полях Узбекистана, Казахстана и Киргизии в целях освоения и увеличения пахотных площадей, повышения их плодородия. Часть сотрудников лаборатории вошла в эрозионный отряд, который занимался борьбой с эрозией почв при интенсивном освоении пахотных территорий в тылу на территории Башкирской АССР. На Ак-Кавинской опытной станции в Киргизии проводились опыты с посевами картофеля и риса. Особое внимание уделялось научно-тематическим исследованиям почвенной эрозии в результате военных действий. По возвращении в Москву в 1943 г. сотрудники лаборатории продолжили

работу на объектах и полевых опытах, заложенных во время эвакуации, а также на новых, расположенных в разных частях страны — в Алтайском крае, Северном Казахстане, Тянь-Шане, Закавказье.

В дальнейшем изучение географии процессов и факторов эрозии почв явилось основным направлением работ лаборатории и координируемых ею республиканских и ведомственных учреждений. В послевоенный период проводились в зональном аспекте исследования физических и химических свойств эродированных почв, изучение противоэрозионной стойкости (эродируемости) почв, разрабатывались теоретические основы борьбы с эрозией почв (Г.А. Преснякова, И.Д. Брауде). Создана классификация смытых почв.

Материалы исследований послужили основой двух томов монографии «Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними» (Соболев, 1948, 1960). Была составлена серия карт факторов эрозии почв и опубликована почвенно-эрозионная карта СССР в масштабе 1:5 млн (Соболев, 1968). Генерализованная версия карты была опубликована в Национальном атласе почв Российской Федерации (2011) (рис. 1). Важный вклад в исследование эрозии почв в этот период внес И.Д. Брауде (1950, 1954, 1958, 1959, 1965, 1976, 1991 и др.).



**Рис. 1.** Почвенно-эрозионная карта России. Масштаб 1 : 5 000 000. Национальный атлас почв Российской Федерации (2011)

**Fig. 1.** Soil erosion map of Russia. Scale 1:5,000,000. National Soil Atlas of the Russian Federation (2011)

Были разработаны основные методические приемы использования материалов почвенно-эрозионных обследований при разработке зональных мероприятий по борьбе с эрозией почв. Полученные материалы широко использовались ведомственными учреждениями для обоснования комплексных проектов внутрихозяйственного землеустройства с противоэрозионной организацией территории.

Сотрудники лаборатории принимали участие в почвенно-эрозионных обследованиях в районах освоения целинных и залежных земель. Методические вопросы отрабатывались совместно с институтом «Росгипрозем» на конкретных объектах в хозяйствах Куйбышевской, Курской и Московской областей, в Краснодарском и Ставропольском краях.

Большое внимание в работе лаборатории уделялось разработке методики эрозионных исследований, результаты опубликованы в руководствах «Временная инструкция к производству экспедиционных почвенно-эрозионных исследований в равнинных областях Союза ССР» (Соболев, 1939), «Временные указания по проектированию проти-

воэрозионных мероприятий» (Временные..., 1969), «Методика полевого опыта по борьбе с водной и ветровой эрозией почв» (Соболев, 1970).

С 1973 по 1996 г. лабораторию возглавлял доктор сельскохозяйственных наук Петр Стефанович Трегубов (рис. 2). В этот период лаборатория имела ряд опорных пунктов по изучению водной и ветровой эрозии почв и разработке противоэрозионных мероприятий.

П.С. Трегубов закончил Павловский сельскохозяйственный техникум;

в 1961 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата сельскохозяйственных наук по теме «Сравнительное изучение приемов обработки почвы на склонах в условиях юго-востока Воронежской области» в Воронежском сельскохозяйственном институте (Трегубов, 1961);

в 1970-х гг. работал в Главном управлении землепользования и землеустройства Министерства сельского хозяйства СССР;

в 1971 г. защитил диссертацию на соискание степени доктора сельскохозяйственных наук по теме «Защита почв от эрозии в земледелии черноземного

Центра СССР» в Харьковском сельскохозяйственном институте (Трегубов, 1971).

Работу заведующего лабораторией эрозии почв П.С. Трегубов совмещал с выполнением обязанностей заместителя директора по науке Почвенного института им. В.В. Докучаева.

В период с 1950-х по 1970-е гг. в СССР был создан целый ряд организаций, направленных на борьбу с эрозией почв: Отдел защиты почв от эрозии Молдавского НИИ почвоведения и агрохимии имени Н.А. Димо, Молдавия (1950 г.); сектор эрозии почв в Министерстве сельского хозяйства Азербайджана (1955 г.); отдел эрозии почв в Институте почвоведения и агрохимии АН Узбекистана (1957 г.); лаборатория агрофизических свойств и защиты почв от эрозии в Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, г. Минск (1963 г.); НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева на географическом факультете МГУ, Москва (1969 г.); Всесоюзный научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии (ВНИИЗиЗПЭ), г. Курск (1969 г.); Украинский научно-исследовательский институт защиты почв от эрозии (Луганский аграрный государственный университет), г. Луганск (1974 г.); кафедра эрозии почв на факультете почвоведения МГУ, Москва (1982 г.). В связи с этим в 1960-е гг. лаборатория эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева стала проводить более детальные многолетние стационарные исследования механизмов формирования эрозии почв для разработки противоэрозионных мероприятий.

В этот период проводились исследования на следующих стационарах:

- Сареевском в Московской области (Г.А. Преснякова);
- Озерском в Московской области (В.Г. Гусаров, В.И. Шурикова, В. Федосенко);
- Ивановском (Богословском) в Тульской области (И.Д. Брауде, Д.С. Булгаков, Л.Н. Гавриленко, В.Г. Гусаров, Г.П. Макарова, В.И. Косоножкин, В.И. Шурикова);
- Петринском в Курской области (Д.С. Булгаков, Г.И. Васильев, П.Д. Кириченко, Г.Г. Мамаева, Н.Н. Захарова, В.И. Шурикова);
- Армавирском в Краснодарском крае (И.Д. Брауде, Л.Н. Гавриленко, В.И. Косоножкин, В.И. Шурикова) (рис. 2).

Также проводились комплексные экспедиции в Воронежской и Ростовской областях, на Кубани и др.

Под руководством П.С. Трегубова разрабатывались теоретические основы защиты почв от эрозии и восстановления плодородия эродированных почв,

изучались зональные и региональные закономерности развития эрозионных процессов с целью теоретического обоснования зональных приемов в борьбе с водной и ветровой эрозией почв (Нечерноземная зона, Северный Кавказ) (Трегубов, 1968, 1982; Трегубов, Зверхановский, 1981; Трегубов, Шурикова, Макарова, 1979; Трегубов, Дизенгоф, Захарова, 1980; Трегубов, Шурикова, 1981; Трегубов, Аверьянов, 1987). Совершенствовались диагностика и классификация эродированных почв (В.И. Шурикова). Было завершено многолетнее изучение механизма развития водной эрозии на серых лесных почвах юга Московской области, разработан и внедрена система дифференцированного использования земель с комплексом почвозащитных мероприятий (И.Д. Брауде). Итогом многолетних исследований явились «Рекомендации по агротехническим приемам защиты почв от водной эрозии в Нечерноземной зоне» (Рекомендации..., 1977). Совместно со специалистами Тульского земпроекта в хозяйстве совхоза-техникума «Богородский» Тульской области был разработан проект землеустройства по освоению системы земледелия на ландшафтной основе (Л.Н. Гавриленко, В.И. Косоножкин). Лаборатория эрозии почв постоянно увеличивала объемы и географию исследований.

В зоне дерново-подзолистых почв на опорном пункте Сареево в Московской области под руководством Г.А. Пресняковой проводились исследования по регулированию стока талых вод, выявлению роли зяблевой вспашки на склонах, особенностей развития эрозионных процессов.

На Озерском стационаре в совхозе «Каширский» Московской области на серых лесных почвах проводились многолетние исследования механизмов формирования эрозионных процессов и их влияния на почвенный покров. Собранные материалы позволили разработать систему дифференцированного использования земель с комплексом мероприятий по противоэрозионной защите почв и повышению их продуктивности. Элементы системы отработаны и проверены в совхозе «Каширский». Составлены рекомендации по борьбе с эрозией почв в Нечерноземной зоне. Разработана также система контурной обработки почвы в сочетании с водосборно-водоотводными бороздами для регулирования поверхностного стока и удобрением смытых почв. Позднее с 2000 по 2015 г. проводилась апробация разработанных подходов по контурно-мелиоративному земледелию на стационаре в Тульской области.

С 1978 по 2000 г. на Ивановском опорном пункте был организован стационар-лаборатория, в котором проводилась пробоподготовка образцов почв



**Рис. 2.** А – здание Иваньковского опорного пункта. Б – зав. лабораторией эрозии почв П.С. Трегубов. В – И.Д. Брауде. Г – зав. стационаром А.И. Назаров. Д – Т. Черняк. Е – Л.Н. Гавриленко. Ж – Н. Иванова, В.И. Косоножкин. З – В.Н. Дмитренко. И – Г.А. Крюкова. К – В.И. Косоножкин. Л – Т. Устинова. М – В.Н. Дмитренко, Г.Г. Мамаева, И. Кротова. Н – учет урожая

**Fig. 2.** А – Ivankovskiy monitoring station. Б – Head of soil erosion laboratory P.S. Tregubov. В – I.D. Braude. Г – Head of station A.I. Nazarov. Д – Т. Chernyak. Е – L.N. Gavrilenko. Ж – N. Ivanova, V.I. Kosonozhkin. З – V.N. Dmitrenko. И – G.A. Kryukova. К – V.I. Kosonozhkin. Л – T. Ustinova. М – V.N. Dmitrenko, G.G. Mamaeva, I. Krotova. Н – crop accounting

и с/х культур, исследовались различные свойства почв. Заведующим стационаром был А.И. Назаров (рис. 2). Данный стационар играл важную роль в формировании кадрового состава и направлений научных исследований Почвенного института им. В.В. Докучаева в этот период.

Армавирский стационар был организован в Краснодарском крае на базе Северо-Кавказской опытной станции ВИМ в 1971 г. после жестоких черных бурь 1969 г. на Северном Кавказе по решению ВАСХ-НИЛ. Данный стационар расположен в эпицентре Армавирского ветрового коридора, в зоне предкавказских мощных черноземов. Работа на стационаре была направлена на разработку комплекса мероприятий по защите почв от дефляции. Для этих целей в 1974 г. был заложен 13-польный почвозащитный севооборот на площади 150 га. Исследования велись по двум сравнительным технологиям возделывания сельскохозяйственных культур, с использованием обычной классической технологии, основанной на ежегодной вспашке с оборотом пласта, и почвозащитной технологии с чередованием плоскорезных и поверхностных обработок с сохранением на поверхности почвы стерни и пожнивных остатков возделываемых культур. Многолетние стационарные и экспедиционные исследования, проведенные совместно с ВИМ, в 1970–2010 гг. позволили разработать теоретические основы и практические мероприятия применительно к степному ландшафту с интенсивным ведением земледелия. Были выявлены причины пыльных бурь, раскрыт механизм их проявления на пахотных землях, определена роль природных

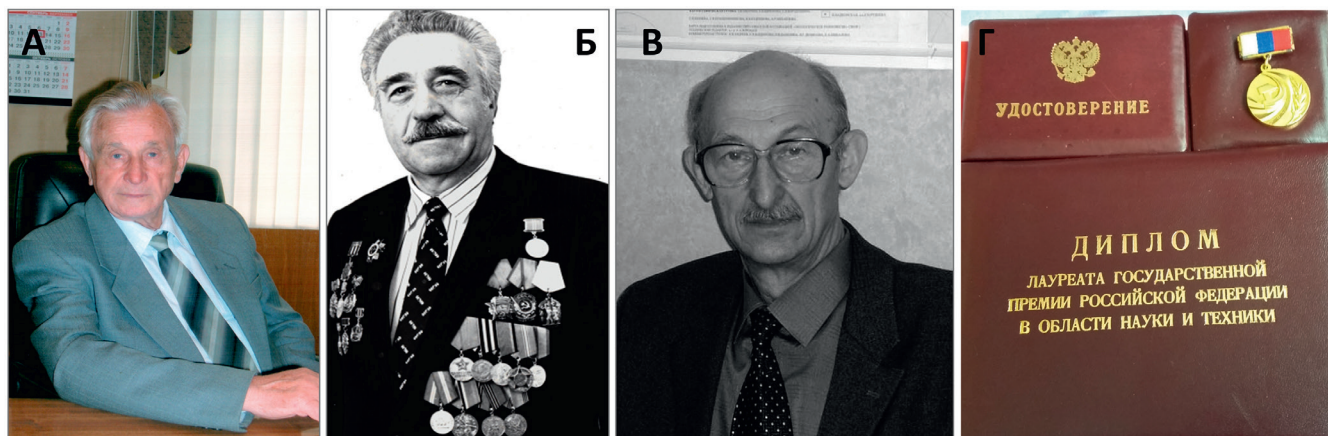
и антропогенных факторов в развитии дефляции и найдены пути защиты почв и посевов от пыльных бурь. Анализ экспериментальных данных показал, что почвозащитные технологии обеспечивают надежную защиту почвы и посевов от дефляции (это подтвердилось наблюдениями 1976, 1979, 1980, 1984, 1994 и 1996 гг.), сохранение и накопление влаги, сохраняют уровень плодородия; сохраняют ресурсы и повышают урожайность возделываемых культур (А.С. Извеков, Г.И. Васильев, Д.С. Булгаков, Н.Н. Захарова и др.).

Решениями Министерства сельского хозяйства РСФСР от 1975, 1977 и 1979 гг. почвозащитные технологии рекомендованы к внедрению в дефляционно опасных районах Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской области и других районах Северного Кавказа. За разработку и внедрение в производство новых почвозащитных технологий и системы (комплекса) противоэрозионной техники для защиты черноземов от дефляции группе ученых из Почвенного института им. В.В. Докучаева и Всероссийского НИИ механизации сельского хозяйства (ВИМ): А.С. Извекову, Д.С. Булгакову, Г.И. Васильеву, Н.Н. Захаровой, Л.А. Лисиченко — в 2004 г. была присуждена Премия Правительства РФ в области науки и техники (рис. 3).

С 1996 по 2013 г. лабораторией заведовал Анатолий Семенович Извеков.

А.С. Извеков закончил Кубанский сельскохозяйственный институт в 1955 г.;

в 1955–1956 гг. работал агрономом-семеноводом в совхозе «Урупский» Краснодарского края;



**Рис. 3.** А — зав. отделом физики, гидрологии и эрозии почв академик А.Н. Каштанов. Б — зав. лабораторией эрозии почв А.С. Извеков. В — Д.С. Булгаков. Г — диплом и удостоверение лауреата Премии Правительства РФ в области науки и техники

**Fig. 3.** А — Head of the Department of Physics, Hydrology and Soil Erosion, Academician A.N. Kashtanov. Б — Head of the Soil Erosion Laboratory A.S. Izvekov. В — D.S. Bulgakov. Г — Diploma and certificate of laureate of the Russian Federation Government Prize in Science and Technology

в 1956–1974 гг. был главным агрономом совхоза им. Жданова Советского района Краснодарского края;

в 1974–1991 гг. работал ученым секретарем и заместителем академика-секретаря в Отделении земледелия и химизации ВАСХНИЛ;

в 1991–1997 гг. был заведующим сектором агроландшафтов и почвозащиты Отделения земледелия РАСХН.

А.С. Извеков был удостоен множества наград за военные и трудовые заслуги: ордена Отечественной войны, ордена Октябрьской революции, ордена Трудового Красного Знамени, Знака почета и 25 медалей СССР. В 1987 г. удостоен звания «Заслуженный агроном РСФСР». В 2004 г. получил премию Правительства РФ в области науки и техники. А.С. Извеков внес значительный вклад в изучение эрозии почв (Извеков, Рыбалкин, 1975; Извеков, 1983, 1984; Извеков, Спиринов, Багдасаров, 1988, 1991, 1992, 1993а, 1993б, 1995, 2012; Извеков, Щепотьев, 2012 и др.).

С 2014 по 2020 г. заведующим лабораторией был В.Н. Щепотьев.

В начале 2000-х гг. большое влияние на работу лаборатории оказал академик А.Н. Каштанов, который с 2002 по 2011 г. заведовал отделом агрофизики, гидрологии и эрозии почв в Почвенном институте им. В.В. Докучаева, а с 2011 по 2022 г. курировал работу данного отдела.

Академик Александр Николаевич Каштанов прошел непростой путь от младшего научного сотрудника МТС до заместителя министра сельского хозяйства, сочетая в разные периоды жизни административную работу с научной деятельностью (Каштанов, 1974, 2007, 2008, 2012а, 2012б; Каштанов, Заславский, 1984; Каштанов, Явтушенко, 1997; Каштанов и др., 1994, 1999 и другие работы). Автобиография А.Н. Каштанова с названием «Крутые повороты» (Каштанов, 2011) очень ярко и красочно описывает историю его многогранной жизни.

А.Н. Каштанов закончил Московскую сельскохозяйственную академию им. К.А. Тимирязева в 1952 г.;

в 1952–1967 гг. был младшим научным сотрудником, главным агрономом МТС, заместителем начальника, первым заместителем и начальником Омского областного сельхозуправления;

в 1967–1976 гг. был директором Алтайского НИИСХ (НИИЗиС);

в 1976–1978 гг. работал заместителем министра сельского хозяйства РСФСР;

в 1979–1983 гг. работал заместителем заведующего сельскохозяйственным отделом ЦК КПСС;

в 1983–1992 гг. занимал должность вице-президента ВАСХНИЛ;

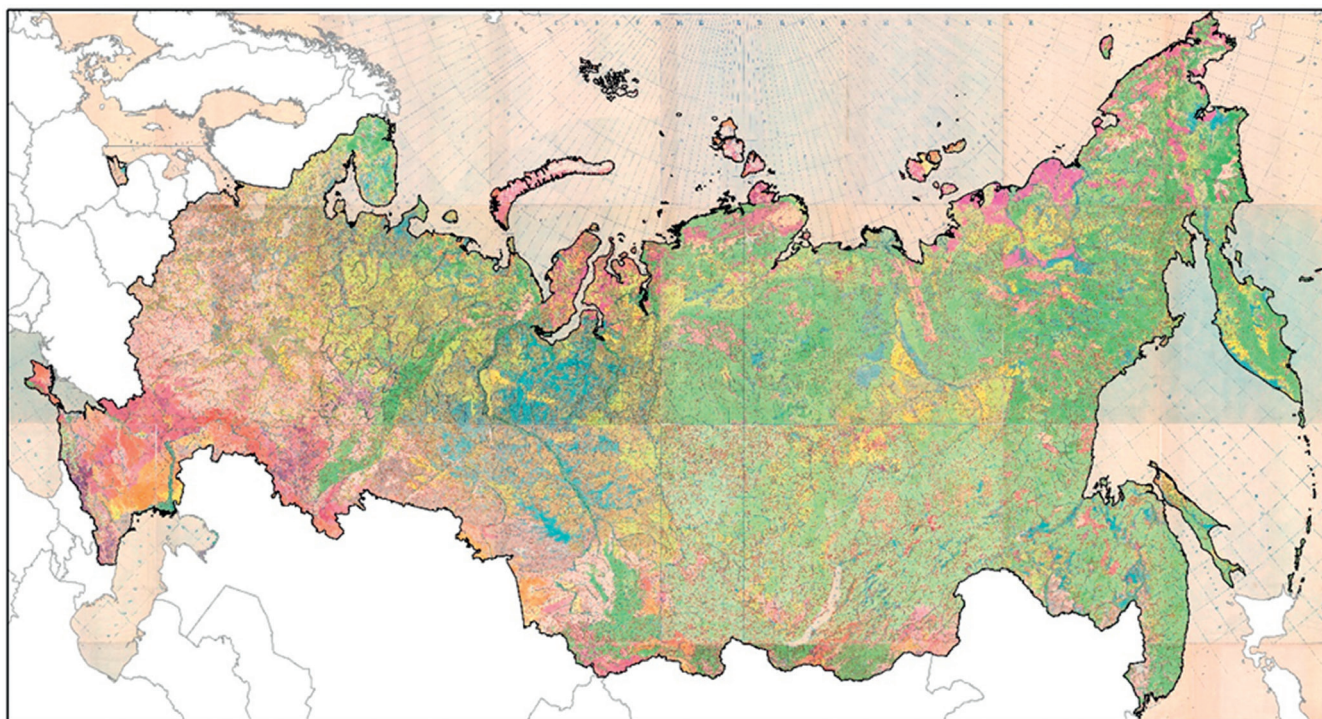
в 1992–2002 гг. был первым вице-президентом РАСХН.

Академик А.Н. Каштанов был удостоен следующих наград: орден Ленина, два ордена Трудового Красного Знамени, два Знака почета, орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени, шесть медалей СССР за труды по сельскому хозяйству, золотых медалей им. В.Р. Вильямса, Н.И. Вавилова. В 1978 г. А.Н. Каштанов получил звание академика РАСХН, в 1996 – академика Академии аграрных наук Белоруссии, Украины, Грузии, Международной Славянской академии; в 1993 г. – звание «Заслуженный деятель науки РФ»; в 2000 г. получил премию Правительства РФ в области науки и техники; в 2003 г. А.Н. Каштанов удостоен звания «Международный ученый 2003 года» Кембриджским центром.

С конца 1980-х до середины 1990-х гг. лабораторией эрозии почв велась работа по созданию «Государственной почвенно-эрозионной карты России и сопредельных стран». Карта была составлена по комплексной программе и методике, разработанной Почвенным институтом им. В.В. Докучаева при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института географии РАН, Росземпроекта. Важно отметить, что Почвенно-эрозионная карта базируется на фактических материалах крупномасштабных почвенно-эрозионных обследований и является результатом труда 42 учреждений-соисполнителей.

Карта выполнена на 16 листах (рис. 4). Каждый лист имел научных редакторов, отвечавших за эрозионное содержание (специалисты лаборатории эрозии почв) и за почвенную нагрузку (специалисты отдела географии почв и лаборатории экологии и эволюции почв). Большую роль в составлении Почвенно-эрозионной карты сыграли следующие сотрудники Почвенного института им. В.В. Докучаева: П.С. Трегубов, Г.И. Васильев, В.И. Шурикова, Н.Н. Захарова, Т.И. Афанасьева, Г.П. Макарова, Н.Н. Вадковская, Л.М. Девейкис, С. Князева, И.В. Кудряшова, Н.Р. Михайлова.

В 1999 г. была издана «Государственная почвенно-эрозионная карта России и сопредельных стран» (Европейская часть) М. 1:2.5 млн (общая редакция академиков А.Н. Каштанова и Л.Л. Шишова, ответственных редакторов – докторов наук А.С. Извекова и Е.М. Наумова). В 2001 г. вышла в свет «Пояснительная записка к государственной почвенно-эрозионной карте России» (Европейская часть) М. 1:2.5 млн. Позднее была опубликована монография «Эрозия почв России» (Каштанов и др.,



**Рис. 4.** Государственная почвенно-эрозионная карта России. Масштаб 1:2 500 000 / Под общей редакцией А.Н. Каштанова и Л.Л. Шишова (1999)

**Fig. 4.** State soil erosion map of Russia. Scale 1:2 500 000 / Generally edited by A.N. Kashtanov and L.L. Shishov (1999)

2004), в которой были охарактеризованы содержание, принципы и приемы отображения информации и методы составления указанной карты.

В 1993 г. Ивановский опорный пункт был реорганизован в Тульский агроландшафтный стационар Почвенного института им. В.В. Докучаева на эродированных серых лесных почвах, с площадью землепользования 90 га. Здесь на основе ландшафтного подхода проводились разработки и была внедрена высокопродуктивная экологически устойчивая система земледелия (рис. 5). Разработан и протестирован агромелиоративный комплекс почвозащитных мероприятий, включающий контурную организацию территории, полосное размещение посевов, подбор почвоулучшающих культур, применение почвозащитных технологий и простейших гидромелиоративных приемов (водоотводные борозды), усиление биологизации почвы (почвозащитные севообороты). Это позволило коренным образом снизить темпы эрозии почв, улучшить агрофизические свойства, повысить показатели плодородия и урожайности возделываемых культур (Извеков, Щепотьев, 2012).

По результатам многолетних исследований сотрудниками лаборатории эрозии почв совместно с учеными из других организаций было опубликовано значительное количество работ, наиболее значи-

тельными являются монографии (Извеков, Рыбалкин, 1975; Каштанов, Заславский, 1984; Каштанов и др., 1994, 1999; Почвозащитные..., 1989; Эрозия почв, 2007 и др.).

С 2016 г. сотрудниками лаборатории под руководством В.Н. Щепотьева совместно с отделом генезиса, географии, классификации и цифровой картографии почв проведены работы в области использования ГИС для ведения оперативного мониторинга земной поверхности, оценки действия водной эрозии, состояния полей и развития экологической ситуации на контролируемых объектах Тульской области. Тематика исследований дополнилась разработкой методики использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для оценки эрозии на основе анализа спектральных характеристик снимков поверхности и построения цифровых моделей рельефа, позволяющей получать объективную информацию о положении и размерах эрозионных образований, скорости и площади их распространения, вести мониторинг действия водной эрозии.

#### **НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ЭРОЗИИ ПОЧВ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ**

С 2021 г. лабораторией руководит кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник



**Рис. 5.** Снимок опытного участка Тульского агроландшафтного стационара с контурно-полосным размещением сельскохозяйственных культур

**Fig. 5.** Satellite image of the experimental field of the Tula agro-landscape station with contour-strip placement of agricultural crops

Андрей Петрович Жидкин. В 2006 г. А.П. Жидкин закончил географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, где в 2010 г. защитил кандидатскую диссертацию и работал до 2020 г. В настоящий период лаборатория эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева плодотворно сотрудничает с НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

В последние годы работы лаборатории направлены на три основные группы задач. Первая группа задач связана с изучением интенсивности и пространственных особенностей протекания эрозионно-аккумулятивных процессов, учета и картографирования эродированных почв. В различных регионах России проводятся оценки эрозии почв на основе полевых методов (почвенно-морфологического, магнитного трассера, радиоцезиевого) и эрозионного моделирования. Сотрудниками лаборатории эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева совместно с сотрудниками из других организаций проведены работы по верификации эрозионных моделей в Московской области (Zhidkin et al., 2022), Тульской области (Zhidkin et al., 2023),

Орловской области (Голосов и др., 2024; Жидкин и др., 2024), Курской области (Голосов и др., 2022; Жидкин и др., 2024), Белгородской области (Жидкин и др., 2024), Республике Башкортостан (Komissarov et al., 2024). Проведены сравнительные оценки площадей эродированных почв на основе традиционного (визуально-экспертного) и цифрового подходов в Белгородской области (Жидкин и др., 2021; Смирнова и др., 2020) и Республике Башкортостан (Lozbenov et al., 2022). Цифровое картографирование эрозионно-аккумулятивных структур почвенного покрова представляется наименее субъективным по сравнению с традиционным подходом, поскольку количественно описывает связи между факторами развития эрозии почв — процессами эрозии почв — морфологическими свойствами почв (мощностью гумусированной толщи). В обобщающей работе (Zhidkin et al., 2025) показаны принципиальные различия в пространственной структуре эрозии почв на шести ключевых участках в различных регионах России, которые наглядно демонстрируют неоспоримую значимость комплексного учета темпов эрозии почв, степени деградации почвенного покрова и про-



**Рис. 6.** Основные компоненты и параметры веб-сервиса по оценке и управлению рисками деградации земель от водной эрозии почв (<https://cmp.esoil.ru/>)

**Fig. 6.** Main components and parameters of the web service for assessing and managing soil erosion risks (<https://cmp.esoil.ru/>)

пространственной структуры протекания эрозионно-аккумулятивных процессов для эффективного почвозащитного земледелия.

Вторая группа современных исследований направлена на ретроспективные оценки изменения факторов, темпов и пространственной структуры протекания эрозионно-аккумулятивных процессов за последние столетия (Иванова и др., 2023а, 2023б; Zhidkin et al., 2022, 2023). Проводится оцифровка исторических карт, реконструкция истории землепользования, состава севооборотов, климатических флуктуаций и других факторов. На основе реконструированных параметров моделируются темпы эрозии почв в разные периоды времени. Смоделированные исторические реконструкции эрозионно-аккумулятивных процессов сопоставляются с оценками, проводимыми полевыми методами.

Третья группа задач посвящена прогнозным оценкам развития эрозии почв в среднесрочной перспективе и развитию методов проектирования интенсивного землепользования с использованием сценарного моделирования деградации почвенного покрова от водной эрозии. Сотрудниками ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева совместно с Институтом проблем информатики (ИПИ) РАН был разработан веб-сервис «Оценка и управление рисками деградации земель от водной эрозии почв». Алгоритм сервиса основан на оценке прогнозного изменения площадей критично-эродированных почв в среднесрочной перспективе. В настоящее время веб-сервис работает на территории Тульской, Орловской, Курской и Белгородской областей. В основу сервиса положена авторская карта темпов эрозии почв на Сред-

нерусской возвышенности высокого разрешения, созданная в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22–17-00071-П, <https://rscf.ru/project/22-17-00071/>). Веб-приложение позволяет моделировать сценарии деградации земель от водной эрозии почв с учетом разных технологий земледелия, в том числе противоэрозионных мероприятий и состава севооборотов. Веб-приложение доступно по ссылке <https://cmp.esoil.ru/>, Свидетельство о государственной регистрации № 2025662878 (рис. 6).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как правило, научные школы характеризуются поступательным развитием, когда опыт и знания передаются от учителей к ученикам из поколения в поколение. Деятельность лаборатории эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева складывалась иначе. Лабораторией преимущественно руководили ученые, получившие опыт работы в других организациях. Смена руководства приводила к обновлению методов, подходов, направления исследований. Однако, как это ни удивительно, смена руководства и векторов развития оставляла лабораторию «на острие» самых насущных проблем эрозиоведения на протяжении более чем 90-летнего периода существования. В результате траектория развития лаборатории оказалась довольно эффективной. В начальный период усилия А.М. Панкова позволили привлечь внимание ученых и практиков на проблему эрозии почв, собрать единомышленников. Под руководством С.С. Соболева были организованы многочисленные комплексные экспедиции, которые позволили оценить

масштаб и региональные особенности проблемы эрозии почв. Была создана первая Почвенно-эрозионная карта СССР. Под руководством П.С. Трегубова были начаты трудоемкие многолетние стационарные исследования, позволившие разработать различные противоэрозионные мероприятия и рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства. А.С. Извековым был сделан значительный вклад в борьбу с ветровой эрозией почв на Северном Кавказе. А.Н. Каштанов сумел скоординировать деятельность 42 учреждений и создать Государственную почвенно-эрозионную карту России на основе генерализации крупномасштабных почвенных обследований, проводившихся в СССР. Современные научно-практические разработки лаборатории связаны с новыми «вызовами» XXI в.: цифровизацией сельского хозяйства (развитием веб-сервисов, оцифровкой границ сельхозугодий, развитием цифровой картографии и т.д.), а также со значительными флуктуациями факторов и интенсивности эрозии почв в связи с изменениями климата, севооборотов, агротехнологий.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена лабораторией эрозии почв ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» в рамках государственного задания Министерства науки и образования РФ FGUR-2025-0008.

### ЛИТЕРАТУРА

Борьба с эрозией почв в СССР: Материалы I Всес. совещания по борьбе с эрозией почв. Москва, 4–7 марта 1936 г. / Под ред. проф. А.М. Панкова. М.; Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1938. 380 с.

Брауде И.Д. Выращивание противоэрозионных насаждений. М.: Сельхозгиз, 1954. 168 с.

Брауде И.Д. Закрепление и освоение оврагов, балок и крутых склонов. М.: Сельхозгиз, 1959. 283 с.

Брауде И.Д. Природа пятнистости пахотных почв на склонах и их мелиорация. Почвоведение. 1991. № 12. С. 89–96.

Брауде И.Д. Противоэрозионная агролесомелиорация в лесостепных районах Европейской части СССР. М.: Изд-во Министерства сел. хоз-ва СССР, 1958. 15 с.

Брауде И.Д. Рациональное использование эродированных серых лесных почв нечерноземной зоны РСФСР. М.: Лесная промышленность, 1976. 72 с.

Брауде И.Д. Эрозия почв, засуха и борьба с ними в ЦЧО. М.: Наука, 1965. 140 с.

Брауде И.Д. Горная эрозия и борьба с ней. М., Л.: Гослесбуиздат, 1950. 51 с.

Временные указания по проектированию противоэрозионных мероприятий. М., 1969. 54 с.

Голосов В.Н., Жидкин А.П., Петелько А.И. и др. Полевая верификация эрозионных моделей на основе исследований малого водосбора в бассейне р. Воробжи (Курская область) // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1321–1338.

DOI: 10.31857/S0032180X22100045

Голосов В.Н., Шамшурина Е.Н., Колос Г.И. и др. Пространственно-временные изменения эрозионно-аккумулятивных процессов на малом водосборе в северной части Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2024. № 5. С. 738–755.

DOI: 10.31857/S0032180X24050076

Государственная почвенно-эрозионная карта России. Масштаб 1:2 500 000 / Под общ. ред. А.Н. Каштанова и Л.Л. Шишова. М.: Евро-Азиатская Ассоциация «Экологическое равновесие (ЭКОР)», 1999.

Жидкин А.П., Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. и др. Цифровое моделирование строения и степени эродированности почвенного покрова (Прохоровский район Белгородской области) // Почвоведение. 2021. № 1. С. 17.

DOI: 10.31857/S0032180X21010159

Жидкин А.П., Фомичева Д.В., Заздравных Е.А. Эрозия и самовосстановление почв на Среднерусской возвышенности // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2024. № 3. С. 49–59.

Иванова Н.Н., Фомичева Д.В., Рухович Д.И. и др. Ретроспективный анализ истории земледельческого освоения и оценка темпов эрозии почв в бассейне р. Локна, Тульская область // Почвоведение. 2023б. № 7. С. 872–886.

DOI: 10.31857/S0032180X22601475

Иванова Н.Н., Фомичева Д.В., Шамшурина Е.Н. Изменение ареалов пахотных угодий за 250 лет (на примере ключевого участка в Московской области) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2023а. Т. 78, № 3. С. 52–67.

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.5

Извеков А.С. Армавирский ветровой коридор — источник эрозионных процессов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 1995. № 1. С. 15–19.

Извеков А.С. Борьба с засухой и создание устойчивости земледелия // Вестник сельскохозяйственных наук. 1984. № 11. С. 142–148.

Извеков А.С. Зарубежный опыт почвозащитного земледелия на склонах // В сб. Почвозащитное земледелие на склонах: под ред. А.Н. Каштанова. М.: Колос, 1983. 527 с.

Извеков А.С. Защита почв от эрозии и воспроизводство их плодородия в южных степных и лесо-

- степных районах России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2012. Вып. 70. С. 79–95.  
DOI: 10.19047/0136-1694-2012-70-79-95
- Извеков А.С. Научные основы повышения продуктивности предкавказских черноземов // Докл. Росс. акад. с.-х. наук. 1993а. № 1. С. 47–57.
- Извеков А.С. Основы конструирования экологически устойчивых агроландшафтов // Земледелие. 1993б. № 9. С. 18–20.
- Извеков А.С. Повышение плодородия и производительности эродированных черноземов Северного Кавказа. В сб. Научное наследие В.В. Докучаева и современное земледелие. М.: Россельхозакадемия, 1992.
- Извеков А.С. Предотвратить экологическую катастрофу // Земледелие. 1991. № 4. С. 42–47.
- Извеков А.С., Рыбалкин П.Н. Ветровая эрозия почв. М.: Колос, 1975. 110 с.
- Извеков А.С., Спиринов А.П., Багдасаров Н.В. и др. Перспективы внедрения почвозащитных технологий // Земледелие. 1988. № 2. С. 36–38.
- Извеков А.С., Щепотьев В.Н. Нетрадиционный подход к использованию эродированных склоновых агросерых почв в земледелии Нечерноземья России // Агрофизика. 2012. № 4(8). С. 45–59.
- Каштанов А.Н. Засуха и борьба с ней: ретроспектива и современность // Земледелие. 2012а. № 3. С. 48.
- Каштанов А.Н. Защита почв от ветровой и водной эрозии. М., 1974. 207 с.
- Каштанов А.Н. Земледелие: избранные труды. М., 2008. 685 с.
- Каштанов А.Н. Крутые повороты. М.: Зарницы, 2011. 261 с.
- Каштанов А.Н. Охрана почв – важнейшая национальная проблема // Земледелие. 2007. № 4. С. 10–11.
- Каштанов А.Н. Почвы России, их состояние и системы земледелия (к 120-летию Докучаевского комплекса в Каменной Степи и 100-летию Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012б. № 3(34). С. 36–40.
- Каштанов А.Н., Заславский М.Н. Почвоводоохранное земледелие. М.: Изд. Россельхозиздат, 1984. 462 с.
- Каштанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швец Г.И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос, 1994. 127 с.  
DOI: 10.13140/2.1.3651.4080.
- Каштанов А.Н., Шишов Л.Л., Кузнецов М.С. Проблемы эрозии и охраны почв России // Почвоведение. 1999. № 1. С. 97–105.
- Каштанов А.Н., Шишов Л.Л., Рожков В.А. и др. Эрозия почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2004. 77 с.
- Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 239 с.
- Козлов Д.Н., Жидкин А.П., Лозбенев Н.И. Цифровое картографирование эрозионных структур почвенного покрова на основе имитационной модели смыва (северная лесостепь Среднерусской возвышенности) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. № 100. С. 5–35.  
DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-5-35
- Панков А.М. Естественно-исторические районы Воронежской губернии. Воронеж : Гос. изд-во. 1921а. 30 с.
- Панков А.М. Землерои и их роль в почвообразовании. Воронеж : Ред.-изд. ком. Наркомзема Средне-черноземной обл., 1921б. 40 с.
- Панков А.М. К географии и картографии почвенной эрозии // Почвоведение. Вып. 6. 1934а. X с.
- Панков А.М. К постановке вопроса об изучении эрозии почв и мер борьбы с нею // Землеведение. Т. 36. Вып. 3. 1934б. X с.
- Панков А.М. Опыт исследования почвенного комплекса в области мощного чернозема (Почвы Тамбовской сельскохозяйственной опытной станции). Ленинград, 1930а. 106 с.
- Панков А.М. Основные положения, принятые при изучении почв Чечни. Владикавказ, 1930б. 18 с.
- Панков А.М. Поверхностные смывы и некоторые вопросы химизации // Химиз. Соц. Земледелия. 1935а.
- Панков А.М. Почвенная карта равнинной и предгорной частей бассейна реки Терек (Краткий текст с прилож. почвенной карты в масштабе 10,67 км в 2,5 см). Владикавказ: типо-лит. «Красный октябрь», 1928. 27 с.
- Панков А.М. Почвенно-географический очерк Тырет-Жигаловского тракта Балаганского и Верхоленского у. Иркутской губ. Санкт-Петербург: тип. Ю.Н. Эрлих, 1911. 72 с.
- Панков А.М. Почвы Большой Кабарды (Материалы к познанию почв Сев. Кавказа). Воронеж: Облплан Кабардино-Балкар. авт. обл., 1926а. 160 с.
- Панков А.М. Почвы Малой Кабарды (Материалы к познанию почв Сев. Кавказа). Воронеж: ЦИК Кабардино-Балкар. авт. обл., 1926б. 103 с.
- Панков А.М. Почвы Присулакской и Приморской низменностей и пятиверстной полосы вдоль канала КОР по материалам почвенного обследования 1925 г. Махачкала: Управление водного хозяйства Наркомзема Даг. АССР, 1927. 148 с.
- Панков А.М. Почвы Чечни. Владикавказ, 1930б. 420 с.

- Панков А.М. Современное состояние вопроса о податливости почв к эрозии // В сб. Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева: Т. 13: Академику Ф.Ю. Левинсону-Лессингу: к 50-летию его научной и общественной деятельности. 1935б. 398 с.
- Панков А.М. Эрозия почв и связанные с ней проблемы // Природа. Вып. 6. 1934в. С. 31–39.
- Почвенно-эрозионная карта России. Масштаб 1 : 5 000 000. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель: АСТ, 2011. 632 с.
- Почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур на эрозионно-опасных землях Северного Кавказа. М.: ВАСХНИЛ, 1989. 112 с.
- Рекомендации по агротехническим приемам защиты почв от водной эрозии в Нечерноземной зоне. М., 1977. 30 с.
- Смирнова М.А., Жидкин А.П., Лозбенев Н.И., Заздравных Е.А., Козлов Д.Н. Цифровое картографирование степени эродированности почв с использованием моделей фактор–свойство и фактор–процесс–свойство (юг Среднерусской возвышенности) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Т. 104. С. 158–198.  
DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-158-198
- Соболев С.С. Временная инструкция к производству экспедиционных почвенно-эрозионных исследований в равнинных областях Союза ССР // Почвоведение, 1939. С. 93–134.
- Соболев С.С. Защита почв от эрозии и повышение их плодородия. М.: Сельхозиздат, 1961. С. 231.
- Соболев С.С. Методика полевого опыта по борьбе с водной и ветровой эрозией почв. М., 1970. 44 с.
- Соболев С.С. Почвенно-эрозионная карта СССР М 1:5 000 000. М.: ГУК, 1968.
- Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними: В 2 т. Л.: Изд-во АН СССР, 1948, 1960.
- Соболев С.С. Современное состояние и задачи борьбы с эрозией почв в СССР: Материалы Сессии по вопросам борьбы с водной и ветровой эрозией почв. М.: Сельхозиздат, 1963. С. 42.
- Соболев С.С. Эрозия почв и борьба с ней. М.: Гос. изд-во геогр. лит., 1950. 173 с.
- Соболев С.С., Полянский И.А. Бонитировка почв. М., 1965. 414 с.
- Трегубов П.С. Борьба с эрозией почв : (Обзор отечеств. и иностр. литературы) : [В 2 кн.]. М., 1968. В 2 т.
- Трегубов П.С. Защита почв от эрозии в земледелии черноземного Центра СССР : дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1970. 663 с.
- Трегубов П.С. Методы исследования эродированных почв. М.: ВНИИТЭИСХ, 1982. 44 с.
- Трегубов П.С. Сравнительное изучение приемов обработки почвы на склонах в условиях юго-востока Воронежской области : дис. ... канд. с.-х. наук. 213 с.
- Трегубов П.С., Аверьянов О.А. Ирригационная эрозия почв и меры ее предотвращения. М., 1987. 53 с.
- Трегубов П.С., Дизенгоф Е.Г., Захарова Н.Н. Противозероэрозийная и противодефляционная стойкость почв и пути ее повышения. М.: ВНИИТЭИСХ, 1980. 61 с.
- Трегубов П.С., Зверхановский Н.В. Борьба с эрозией почв в Нечерноземье. Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, 1981. 158 с.
- Трегубов П.С., Шурикова В.И. Плодородие почв, подверженных водной эрозии, и пути его повышения. М.: ВНИИТЭИСХ, 1981. 58 с.
- Трегубов П.С., Шурикова В.И., Макарова Г.П. Защита песчаных земель от эрозии. М.: ВНИИТЭИСХ, 1979. 55 с.
- Эрозия почв / Под ред. А.Н. Каштанова. М.: ГНУ Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2007. 322 с.
- Komissarov M., Golosov V., Zhidkin A., Fomicheva D., Konoplev A. The cross-verification of different methods for soil erosion assessment of natural and agricultural low slopes in the southern Cis-Ural region of Russia // Land. 2024. Vol. 13. P. 1767.  
DOI: [10.3390/land13111767](https://doi.org/10.3390/land13111767)
- Lozbenev N., Komissarov M., Zhidkin A. et al. Comparative assessment of digital and conventional soil mapping: A case study of the southern Cis-Ural region, Russia // Soil Systems, 2022. Vol. 6. P. 14.  
DOI: [10.3390/soilsystems6010014](https://doi.org/10.3390/soilsystems6010014)
- Zhidkin A., Fomicheva D., Ivanova N., Dostál T., Yurova A., Komissarov M., Krása J. A detailed reconstruction of changes in the factors and parameters of soil erosion over the past 250 years in the forest zone of European Russia (Moscow region) // International Soil and Water Conservation Research 2022. Vol. 10. P. 149–160. DOI: [10.1016/j.iswcr.2021.06.003](https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.06.003)
- Zhidkin A., Fomicheva D., Shamshurina E. et al. Digital soil mapping of erosion-induced degradation of chernozems on the east-European plain // Geoderma Regional. 2025. DOI: [10.1016/j.geodrs.2025.e00953](https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2025.e00953)
- Zhidkin A., Gennadiev A., Fomicheva D., Shamshurina E., Golosov V. Soil erosion models verification in a small catchment for different time windows with changing cropland boundary // Geoderma. 2023. Vol. 430. P. 116322.  
DOI: [10.1016/j.geoderma.2022.116322](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116322)

## ОБ АВТОРЕ

Жидкин Андрей Петрович — кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией эрозии почв ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева».

## SOIL EROSION LABORATORY OF V.V. DOKUCHAEV SOIL SCIENCE INSTITUTE

A.P. Zhidkin

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia*

[gidkin@mail.ru](mailto:gidkin@mail.ru)

**Abstract.** The Soil Erosion Laboratory of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute was organized in 1932 on the initiative of the reputed soil scientist A.M. Pankov. This laboratory became the first specialized laboratory in the USSR to systematically study soil erosion. For a long time, the laboratory served as the coordinating center for erosion control research in the country. The laboratory's extensive scientific and organizational activities mobilized the attention of scientists and practitioners to this important problem. In 1936, the First All-Union Conference on Soil Erosion Control was held in Moscow under the leadership of D.G. Vilensky and A.M. Pankov. The laboratory's rich history is linked to renowned scientists such as A.M. Pankov, Academician S.S. Sobolev, Academician A.N. Kashtanov, I.D. Braude, P.S. Tregubov, A.S. Izvekov, and others. Since the laboratory's establishment, its main research areas have been focused on recording and mapping eroded soils, assessing the specifics and severity of erosion processes, and zoning areas susceptible to erosion. To study these issues, numerous comprehensive soil erosion studies were organized in the European part of Russia and the Soviet republics. Since the 1960s, along with expeditionary research, long-term stationary soil erosion observations have been conducted, aimed at developing anti-erosion soil conservation measures. Over more than 90 years of laboratory activity, the spatial and geographic patterns of water and wind soil erosion have been studied; soil erosion maps of the USSR and individual regions have been compiled; and soil conservation measures aimed at combating water and wind soil erosion and restoring the fertility of eroded soils have been developed and implemented. The results of these scientific studies have received recognition at the highest government level. In recent years, research has been conducted using a combination of traditional and modern methods for diagnosing and modeling erosion processes, and new approaches to assessing and managing the risks of land degradation from soil erosion are being developed.

**Keywords:** soil erosion, surface runoff, soil degradation, Soil erosion map of Russia, anti-erosion measures, contour farming

DOI:

### ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out by the soil erosion laboratory of the Federal Research Center "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute" within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation FGUR-2025-0008.

### REFERENCES

- Braude I.D. Anti-Erosion Agro-Forest Reclamation in the Forest-Steppe Regions of the European Part of the USSR. Moscow: Ministry of Agriculture of the USSR Publishing House, 1958. 15 p. (In Russ.)
- Braude I.D. Cultivation of Anti-Erosion Plantings. Moscow: Sel'khozgiz, 1954. 168 p. (In Russ.)
- Braude I.D. Mountain Erosion and Combating It. Moscow, Leningrad: Goslesbumizdat, 1950. 51 p. (In Russ.)
- Braude I.D. Rational Use of Eroded Gray Forest Soils in the Non-Chernozem Zone of the RSFSR. Moscow: Lesnaya Promyshlennost', 1976. 72 p. (In Russ.)
- Braude I.D. Soil Erosion, Drought and Combating Them in the Central Black Earth Region. Moscow: Nauka, 1965. 140 p. (In Russ.)
- Braude I.D. Stabilization and Development of Gullies, Hollows and Steep Slopes. Moscow: Sel'khozgiz, 1959. 283 p. (In Russ.)
- Braude I.D. The nature of patchiness of arable soils on slopes and their reclamation // Eurasian Soil Science. 1991. No. 12. P. 89–96. (In Russ.)
- Combating Soil Erosion in the USSR: Proceedings of the 1st All-Union Conference on Combating Soil Erosion. Moscow, March 4–7, 1936 (edited by Prof. A.M. Pankov). Moscow; Leningrad: Academy of Sciences of the USSR Publishing House, 1938. 380 p. (In Russ.)
- Golosov V.N., Shamshurina E.N., Kolos G.I. et al. Spatiotemporal Changes in the Erosion and Deposition Processes in a Small Catchment in the North of the Central Russian Upland // Eurasian Soil Science. 2024. No. 57. P. 838–852. DOI: 10.1134/S1064229323603682.
- Golosov V.N., Zhidkin A.P., Petelko A.I. et al. Field Verification of Erosion Models Based on the Studies of

- a Small Catchment in the Vorobzha River Basin (Kursk oblast, Russia) // *Eurasian Soil Science*. 2022. No. 55. P. 1508–1523. DOI: 10.1134/S1064229322100040
- Ivanova N.N., Fomicheva D.V., Rukhovich D.I. et al. Retrospective Analysis of the History of Agricultural Development and Evaluation of Soil Erosion Rates in the Lokna River Basin, Tula Oblast // *Eurasian Soil Science*. 2023. No. 56. P. 963–975. DOI: 10.1134/S1064229323600586
- Ivanova N.N., Fomicheva D.V., Shamshurina E.N. Changes in the Area and Location of Arable Land Borders over 250 Years (Based on the Example of a Key Plot in Moscow Oblast) // *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2024. Vol. 79 (Suppl 1). S11-S23. DOI: 10.3103/S0147687424700327
- Izvekov A.S. Combating drought and creating agricultural sustainability // *Vestnik sel'skokhozyaistvennykh nauk*. 1984. No. 11. P. 142–148. (In Russ.)
- Izvekov A.S. Foreign experience of soil-protective farming on slopes. In: *Soil-Protective Farming on Slopes* (edited by A.N. Kashtanov). Moscow: Kolos, 1983. 527 p. (In Russ.)
- Izvekov A.S. Fundamentals of designing environmentally sustainable agrolandscapes // *Zemledelie*, 1993b. No. 9. P. 18–20. (In Russ.)
- Izvekov A.S. Increasing fertility and productivity of eroded chernozems in the North Caucasus. In: *Scientific Heritage of V.V. Dokuchaev and Modern Agriculture*. Moscow: Rossel'khozakademiya, 1992. (In Russ.)
- Izvekov A.S. Preventing an environmental disaster // *Zemledelie*. 1991. No. 4. P. 42–47. (In Russ.)
- Izvekov A.S. Protection of soils from erosion and reproduction of their fertility in the southern steppe and forest-steppe regions of Russia // *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*. 2012. Issue 70. P. 79–95. DOI: 10.19047/0136-1694-2012-70-79-95 (In Russ.)
- Izvekov A.S. Scientific foundations for increasing the productivity of Ciscaucasian chernozems // *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 1993a. No. 1. P. 47–57. (In Russ.)
- Izvekov A.S. The Armavir wind corridor as a source of erosion processes // *Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 1995. No. 1. P. 15–19. (In Russ.)
- Izvekov A.S., Rybalkin P.N. *Wind Erosion of Soils*. Moscow: Kolos, 1975. 110 p. (In Russ.)
- Izvekov A.S., Shchepotyev V.N. A non-traditional approach to the use of eroded slope agro-gray soils in agriculture of the Non-Chernozem zone of Russia // *Agrophisica*. 2012. No. 4(8). P. 45–59. (In Russ.)
- Izvekov A.S., Spirin A.P., Bagdasarov N.V. et al. Prospects for implementing soil-protective technologies // *Zemledelie*. 1988. No. 2. P. 36–38. (In Russ.)
- Kashtanov A.N. *Agriculture: Selected Works*. Moscow, 2008. 685 p. (In Russ.)
- Kashtanov A.N. *Drastic Turns*. Moscow: Zarnitsy, 2011. 261 p. (In Russ.)
- Kashtanov A.N. Drought and combating it: retrospect and modernity // *Zemledelie*. 2012a. No. 3, p. 48. (In Russ.)
- Kashtanov A.N. *Protection of Soils from Winds and Water Erosion*. Moscow, 1974, 207 p. (In Russ.)
- Kashtanov A.N. Soil protection is the most important national problem // *Zemledelie*. 2007. No. 4. P. 10–11. (In Russ.)
- Kashtanov A.N. Soils of Russia, their condition and farming systems (on the 120th anniversary of the Dokuchaev complex in Kamennaya Steppe and the 100th anniversary of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012b. No. 3(34). P. 36–40. (In Russ.)
- Kashtanov A.N., Lisetsky F.N., Shvebs G.I. *Fundamentals of Landscape-Ecological Agriculture*. Moscow: Kolos Publishing House, 1994. 127 p. DOI: 10.13140/2.1.3651.4080 (In Russ.)
- Kashtanov A.N., Shishov L.L., Kuznetsov M.S. Problems of soil erosion and soil conservation in Russia // *Eurasian Soil Science*. 1999. No. 32 (1), P. 83–90.
- Kashtanov A.N., Shishov L.L., Rozhkov V.A. et al. *Soil Erosion in Russia*. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2004. 77 p. (In Russ.)
- Kashtanov A.N., Yavtushenko V.E. *Agroecology of Slope Soils*. Moscow: Kolos, 1997. 239 p. (In Russ.)
- Kashtanov A.N., Zaslavsky M.N. *Soil-Water Protection Agriculture*. Moscow: Rossel'khozizdat Publishing House, 1984. 462 p. (In Russ.)
- Komissarov M., Golosov V., Zhidkin A., Fomicheva D., Konoplev A. The cross-verification of different methods for soil erosion assessment of natural and agricultural low slopes in the southern cis-ural region of Russia // *Land*. 2024. Vol. 13. P. 1767. DOI: 10.3390/land13111767
- Kozlov D.N., Zhidkin A.P., Lozbenev N.I. Digital mapping of soil cover eroded patterns on the basis of soil erosion simulation model (northern foreststeppe of the Central Russian Upland) // *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019. No. 100. P. 5–35. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-5-35 (In Russ.)
- Lozbenev N., Komissarov M., Zhidkin A. et al. Comparative assessment of digital and conventional soil mapping: A case study of the southern Cis-Ural region, Russia // *Soil Systems*. 2022. Vol. 6. P. 14. DOI: 10.3390/soilsystems6010014
- Pankov A.M. *Earth-Burrowing Animals and Their Role in Soil Formation*. Voronezh: Editorial-Publishing Committee of the People's Commissariat of Agriculture

- of the Central Black Earth Region, 1921b. 40 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Experience in Studying the Soil Complex in the Region of Powerful Chernozem (Soils of the Tambov Agricultural Experimental Station). Leningrad, 1930a. 106 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Main Provisions Adopted in the Study of Chechnya Soils. Vladikavkaz, 1930a-1930b. 18 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Natural-Historical Regions of the Voronezh Province. Voronezh: State Publishing House, 1921a. 30 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. On geography and cartography of soil erosion // Eurasian Soil Science. Vol. 6. 1934a. (In Russ.)
- Pankov A.M. On the study of soil erosion and measures to combat it // Zemlevedenie. Vol. 36., Issue 3. 1934b. (In Russ.)
- Pankov A.M. Soil erosion and related problems // Priroda. Issue 6. 1934c. P. 31–39. (In Russ.)
- Pankov A.M. Soil Map of the Plain and Foothill Parts of the Terek River Basin: (Brief Text with the Soil Map at a Scale of 10.67 km in 2.5 cm). Vladikavkaz: Krasny Oktyabr' Printing House, 1928. 27 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Soil-Geographical Sketch of the Tyret-Zhigalovsky Tract of the Balagansky and Verkholen District of the Irkutsk Province. Saint Petersburg: Yu.N. Erlikh Printing House, 1911. 72 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Soils of Chechnya. Vladikavkaz, 1930b. 420 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Soils of Greater Kabarda: (Materials for the Study of Soils of the North Caucasus). Voronezh: Regional Planning of the Kabardino-Balkar Autonomous Oblast, 1926a. 160 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Soils of Lesser Kabarda: (Materials for the Study of Soils of the North Caucasus). Voronezh: Central Executive Committee of the Kabardino-Balkar Autonomous Oblast, 1926b. 103 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Soils of the Prsulak and Primorsky Lowlands and the Five-Verst Strip Along the KOR Canal Based on Soil Survey Materials from 1925. Makhachkala: Water Management Department of the People's Commissariat of Agriculture of the Dagestan ASSR, 1927. 148 p. (In Russ.)
- Pankov A.M. Surface washouts and some issues of chemicalization. Khimizatsiya Sotsialisticheskogo Zemledeliya, 1935a. (In Russ.)
- Pankov A.M. The current state of the issue of soil susceptibility to erosion. In: Proceedings of the Dokuchaev Soil Institute: Vol. 13: To Academician F.Yu. Levinson-Lessing on the 50th anniversary of his scientific and public activity. 1935b. 398 p. (In Russ.)
- Recommendations on Agro-Technical Methods for Protecting Soils from Water Erosion in the Non-Chernozem Zone. Moscow, 1977. 30 p. (In Russ.)
- Smirnova M.A., Zhidkin A.P., Lozbenov N.I., Zazdravnykh E.A., Kozlov D.N. Digital mapping of soil erosion degree using factor-property and factor-process-property models (south of the Central Russian Upland) // Dokuchaev Soil Bulletin. 2020. Vol. 104. P. 158–198. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-158-198 (In Russ.)
- Sobolev S.S. Development of Erosion Processes in the European Part of the USSR and the Fight Against Them: In 2 Volumes. Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1948, 1960. (In Russ.)
- Sobolev S.S. Field Experiment Methodology for Combating Water and Wind Soil Erosion. Moscow, 1970. 44 p. (In Russ.)
- Sobolev S.S. Protection of Soils from Erosion and Increasing Their Fertility. Moscow: Sel'khozizdat, 1961. 231 p. (In Russ.)
- Sobolev S.S. Soil Erosion and the Fight Against It. Moscow: State Publishing House of Geographical Literature, 1950. 173 p. (In Russ.)
- Sobolev S.S. Soil Erosion Map of the USSR. Scale 1:5,000,000. Moscow: GUK, 1968. (In Russ.)
- Sobolev S.S. Temporary instruction for conducting expeditionary soil erosion research in plain regions of the USSR // Eurasian Soil Science, 1939. P. 93–134. (In Russ.)
- Sobolev S.S. The current state and tasks of combating soil erosion in the USSR: Materials of the Session on Issues of Combating Water and Wind Soil Erosion. Moscow: Sel'khozizdat, 1963. 42 p. (In Russ.)
- Sobolev S.S., Polyansky I.A. Soil Evaluation. Moscow, 1965. 414 p. (In Russ.)
- Soil Erosion (edited by A.N. Kashtanov). Moscow: GNU V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2007. 322 p. (In Russ.)
- Soil Erosion Map of Russia. Scale 1:5,000,000. National Atlas of Soils of the Russian Federation. Moscow: Astrel: AST, 2011. 632 p. (In Russ.)
- Soil-Protective Technologies for Cultivating Agricultural Crops on Erosion-Prone Lands of the North Caucasus. Moscow: VASKhNIL, 1989. 112 p. (In Russ.)
- State Soil Erosion Map of Russia. Scale 1:2,500,000 (edited by A.N. Kashtanov and L.L. Shishov). Moscow: Euro-Asian Association "Ecological Balance (EKOR)", 1999. (In Russ.)
- Temporary Guidelines for Designing Anti-Erosion Measures. Moscow, 1969. 54 p. (In Russ.)

Tregubov P.S. Combating Soil Erosion: (Review of Domestic and Foreign Literature): In 2 Volumes. Moscow, 1968. (In Russ.)

Tregubov P.S. Comparative Study of Soil Cultivation Methods on Slopes in the Conditions of the Southeast of the Voronezh Region: Candidate's Dissertation in Agricultural Sciences. 213 p. (In Russ.)

Tregubov P.S. Methods of Studying Eroded Soils. Moscow: VNIITEISKh, 1982. 44 p. (In Russ.)

Tregubov P.S. Protection of Soils from Erosion in Agriculture of the Chernozem Center of the USSR: Doctoral Dissertation in Agricultural Sciences. Moscow, 1970. 663 p. (In Russ.)

Tregubov P.S., Averyanov O.A. Irrigation Soil Erosion and Measures to Prevent It. Moscow, 1987. 53 p. (In Russ.)

Tregubov P.S., Dizengof E.G., Zakharova N.N. Anti-Erosion and Anti-Deflation Resistance of Soils and Ways to Increase It. Moscow: VNIITEISKh, 1980. 61 p. (In Russ.)

Tregubov P.S., Shurikova V.I. Fertility of Soils Affected by Water Erosion and Ways to Increase It. Moscow: VNIITEISKh, 1981. 58 p. (In Russ.)

Tregubov P.S., Shurikova V.I., Makarova G.P. Protection of Sandy Lands from Erosion. Moscow: VNIITEISKh, 1979. 55 p. (In Russ.)

Tregubov P.S., Zverkhanovsky N.V. Combating Soil Erosion in the Non-Chernozem Zone. Leningrad: Kolos Publishing House, Leningrad Branch, 1981. 158 p. (In Russ.)

Zhidkin A., Fomicheva D., Ivanova N., Dostál T., Yurova A., Komissarov M., Krása J. A detailed reconstruction of changes in the factors and parameters of soil erosion over the past 250 years in the forest zone of European Russia (Moscow region) // International Soil and Water Conservation Research, 2022. Vol. 10. pp. 149–160 DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.06.003

Zhidkin A., Fomicheva D., Shamshurina E. et al. Digital soil mapping of erosion-induced degradation of chernozems on the east-European plain // Geoderma Regional. 2025. DOI: 10.1016/j.geodrs.2025.e00953

Zhidkin A., Gennadiev A., Fomicheva D., Shamshurina E., Golosov V. Soil erosion models verification in a small catchment for different time windows with changing cropland boundary // Geoderma. 2023. Vol. 430. P. 116322. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116322

Zhidkin A.P., Fomicheva D.V., Zazdravnykh E.A. Erosion and self-restoration of soils in the Central Russian Upland // Moscow University Soil Science Bulletin. 2024. No. 79. P. 255–263.

Zhidkin A.P., Smirnova M.A., Gennadiev A.N. et al. Digital Mapping of Soil Associations and Eroded Soils (Prokhorovskii District) // Eurasian Soil Science, 2021, No. 1. Vol. 54. P. 13-24.

DOI: 10.1134/S1064229321010154

#### ABOUT THE AUTHOR

Andrey Petrovich Zhidkin is a candidate of Geographical Sciences, a leading researcher, head of the Soil Erosion Laboratory at the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute.

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ А.С. КОЗМЕНКО – Г.П. СУРМАЧА

*Посвящается 110-летию со дня рождения  
доктора с.-х. наук, профессора  
Георгия Пантелеймоновича Сурмача*

**А.Т. Барабанов<sup>1\*</sup>, В.И. Панов<sup>2</sup>, А.В. Выпова<sup>3</sup>, А.В. Кулик<sup>1</sup>, О.А. Гордиенко<sup>1</sup>,  
А.Д. Митрофанова<sup>1</sup>, С.В. Петров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), лаборатория защиты почв от эрозии, г. Волгоград, Россия

<sup>2</sup> Поволжская агролесомелиоративная опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Поволжская АГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН), п. Новоберезовский, Самарская обл., Россия

<sup>3</sup>Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Новосильская ЗАГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН), г. Мценск, Орловская обл., Россия

\*barabanov-a@vifanc.ru

Поступила в редакцию 04.12.2025

После доработки 16.12.2025

Принята к публикации 17.12.2025

**Аннотация.** В настоящем обзоре приведены основные результаты многолетней работы научной школы эрозиоведения Козменко – Сурмача. Достижениями школы можно считать всестороннее глубокое изучение эрозионно-гидрологического процесса, создание основ отечественной противоэрозионной мелиорации, которые стали фундаментом для современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Одним из первых в нашей стране ученых, занимавшихся систематическими исследованиями в области изучения эрозионно-гидрологического процесса, а также разработками мер по его регулированию, является А.С. Козменко. Им была разработана оригинальная теория рельефообразования. В дальнейшем его работу продолжил его ученик Г.П. Сурмач, который провел обширные почвенно-эрозионные исследования, дополнил разработанную ранее теорию рельефообразования, обосновал теорию формирования серых лесных почв и черноземов в лесостепной зоне, предложил классификацию почв по степени смывости, разработал прогноз стока талых вод. Развитие идей школы было продолжено Е.А. Гаршиным, В.П. Борцом, А.Т. Барабановым, В.И. Пановым, А.И. Петелько и др. На основе теории рельефообразования получили научное обоснование методы адаптивно-ландшафтного обустройства территории водосборов и размещения на них стокорегулирующих лесополос и других рубежей на расчетной основе; созданы новые приемы, технологии и система управления эрозионно-гидрологическим процессом; разработана методика высокоточного прогноза поверхностного стока талых вод. Таким образом, вековые важнейшие исследования в области защиты почв от эрозии и совершенствования противоэрозионной мелиорации получили достойное развитие. В настоящее время накопленный опыт и теоретические и прикладные разработки являются базой для устойчивого агроприродопользования на основе адаптивно-ландшафтного обустройства территории и создания агролесомелиоративного экологического каркаса в условиях возрастания антропогенного прессинга и изменения климата.

**Ключевые слова:** рельефообразование, поверхностный сток, эрозионно-гидрологический процесс, эрозия почв, противоэрозионная мелиорация, адаптивно-ландшафтное земледелие

DOI: <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-4-4-40-57>

## ВВЕДЕНИЕ

В начале XX в. наша страна столкнулась с чередой негативных климатических явлений (засух), которые привели как к экономическому, так и к продовольственному кризису. Перед учеными и практиками остро встал вопрос о ликвидации последствий катастрофических засух, а также о недопущении подобных негативных явлений вновь. В связи с этим 29 апреля 1921 г. было принято Постановление Совета Труда и Оборона «О борьбе с засухой», в котором Центральному лесному отделу предписали укрепить овраги с использованием древесных насаждений, создать снегосборные полосы, облесить безлесные засушливые территории страны, а Народному комиссариату земледелия — организовать научно-исследовательскую работу по данным направлениям (Постановление Совета Труда..., 1921). В том же году для научной разработки вопросов борьбы с эрозией почв в районах лесостепи была создана Новосильская опытно-овражная станция (Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»). Директором ее был назначен Алексей Семенович Козменко. Для решения проблем защитного лесоразведения в степях Поволжья в 1930 г. в г. Самаре (тогда — центр Средневолжского края, с 1935 по 1991 г. — г. Куйбышев) была создана Средневолжская лесокультурная и агролесомелиоративная опытная станция. Позже, в 1931 г., для теоретического обоснования мероприятий по облесению территорий и развития прикладных разработок в области противоэрозионной мелиорации и защитного лесоразведения в целом был создан Всесоюзный научно-исследовательский агролесомелиоративный институт (ВНИАЛМИ, ныне ФНЦ агроэкологии РАН) (Зюзь, 2005). Для изучения процессов водной эрозии почв, разработки приемов закрепления, облесения, выполаживания и залужения оврагов в 1932 г. в системе ВНИАЛМИ по инициативе проф. Н.И. Суся в станции Клетской Сталинградской обл. (ныне Волгоградской обл.) организован Клетский опытно-овражный опорный пункт. В 1936 г. опытная станция в Куйбышевской области была переименована в Поволжскую агролесомелиоративную опытную станцию и передана в подчинение ВНИАЛМИ. Таким образом, сформировалась большая опытная сеть.



Алексей Семенович Козменко  
Alexey Semenovich Kozmenko

## СТАНОВЛЕНИЕ И НАЧАЛО РАЗВИТИЯ ШКОЛЫ ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ

Создание Новосильской опытной станции под руководством А.С. Козменко можно считать началом формирования научной школы эрозиоведения. Алексей Семенович Козменко (1878–1965) считается основателем этой школы в нашей стране (Козменко, 1937а). После окончания Московского университета, в котором он приобрел профессии геолога и почвовода, и Московского сельскохозяйственного института (агроном и инженер) он участвовал в многолетних почвенно-эрозионных, гидрологических и геоморфологических экспедициях. Фундаментальные теоретические и практические знания он получил от выдающихся ученых того времени В.И. Вернадского, А.П. Павлова, К.А. Тимирязева, В.Р. Вильямса, Д.Н. Прянишникова. В ходе последующих работ в Тульской губернии в пределах бассейнов рек Зуши и Красивой Мечи (притоки Оки) им был собран обширный материал о гидрологических особенностях региона, строении сухоходольной и речной сети, формах и структуре эрозионного рельефа, распределении почв по степени смытости и распространении современных линейных форм эрозии.

В тот период при изучении рельефа большое внимание уделялось процессу оврагообразования. Были разработаны классификации размывов по их положению на водосборе (донные, береговые, склоновые) и стадиям развития во времени (водороины, промоины, овраги). Генезисом эрозионно-аккумулятивного рельефа часто занимались преимущественно геоморфологи и геологи. Однако, по мнению Г.П. Сурмача, такой подход к решению этого сложного вопроса был недостаточен. А.С. Козменко

обладал знаниями не только геолога, но и почвовед-а, лесомелиоратора, агронома, что позволило ему всесторонне подойти к изучению рельефообразования. Разработанная им теория основывается на разделении древних и современных эрозионных образований, что послужило основой для разработок противоэрозионных мероприятий. Им научно обосновано формирование покровных отложений вследствие единого эрозионно-аккумулятивного процесса в четвертичное время, а также впервые в стране разработаны основы противоэрозионной мелиорации как целостной системы противоэрозионных мероприятий: организационно-хозяйственных (организация территории, планирование севооборотов, размещение полей, лесополос, дорог, прудов и водохранилищ на местном стоке), агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических и лугомелиоративных (Козменко, 1937а). При организации территории производится типизация земель, выделяются контуры по однородным агроэкологическим условиям, а также определяется характер использования земель с применением на них необходимых технологий, приемов и мероприятий. Эти идеи использовались и используются по сей день учеными и практиками при разработке систем адаптивно-ландшафтного земледелия. Приверженцами данного направления были известные ученые Г.А. Харитонов, И.Д. Брауде, Т.Ф. Антропов, И.Г. Герасимов, Д.Л. Арманд, М.Н. Заславский, А.Н. Каштанов, Е.С. Павловский, Г.И. Швецс, Н.И. Бобровицкая, Н.П. Калининченко и др.

В 1936 г. на первом Всесоюзном совещании по борьбе с эрозией почв в СССР (Постановления первого..., 1938) высоко оценили многолетнюю и комплексную работу Новосильской опытно-опражной станции под руководством А.С. Козменко, отметив ее уникальность и правильность выбранных принципов борьбы с эрозией в лесостепи. Было подчеркнуто значение комплексного подхода к регулированию стока и борьбе с эрозией, включение агрономических вопросов в ее программу, рекомендовано начать издание трудов станции и признано, что при планировании противоэрозионных мероприятий следует опираться на учение В.Р. Вильямса и методы Новосильской станции.

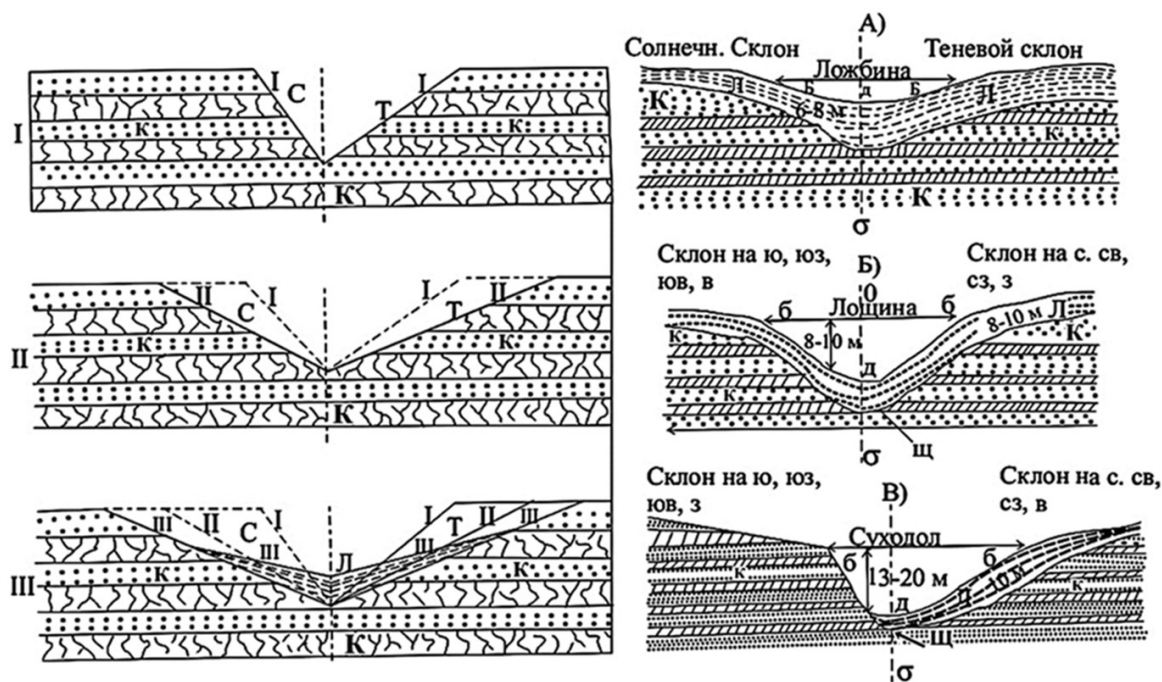
В 1938 г. во ВНИАЛМИ был организован отдел борьбы с эрозией почв, который возглавил А.С. Козменко, оставаясь научным руководителем Новосильской опытной станции, являющейся структурным подразделением института.

Теория рельефообразования А.С. Козменко стала основой для понимания эрозионно-аккумулятивного и гидрологического процесса и базой для создания современных систем почвозащит-

ного адаптивно-ландшафтного земледелия. Она заключается в том, что в четвертичный период чередование ледниковых и межледниковых эпох вызывало мощные потоки талых вод, которые формировали крупные размывы, переносили и переотлагали породы. Из-за смены климата и стока эрозионно-аккумулятивный процесс развивался циклично; по мнению А.С. Козменко, было 3 цикла (Козменко, 1937а). Каждый новый цикл повторял характер прежних, но создавал новые формы рельефа на уже существующих. Формирование склонов и гидрографической сети происходило сначала без растительности, которая восстанавливалась лишь после того, как ледник отступил. Каждый цикл включал три стадии: 1) формирование глубокого размыва, углубления и расширение гидрографической сети; 2) появление бокового смыва, в результате которого происходит формирование склонов различной формы; 3) образование покровных отложений за счет переноса рыхлых материалов на более пологие участки склонов (рис. 1) (Козменко, 1937а). В последнюю стадию происходит образование лёссовидных суглинков и глин. Такой подход к пониманию генезиса рельефа объединяет процессы разрушения (эрозии) и формирования покровных отложений (аккумуляцию) в единый эрозионно-аккумулятивный процесс. С распространением растительного покрова и усилением процессов почвообразования интенсивность эрозионно-аккумулятивного процесса ослабевает, а при образовании прочной дернины прекращается полностью.

Таким образом, А.С. Козменко обосновал единство происхождения суходольной и речной гидрографической сети. Им впервые эрозионные формы рельефа по происхождению разделены на древние, связанные с ледниковыми эпохами, и современные — с антропогенной деятельностью (Козменко, 1954а).

Продолжая говорить о теории рельефообразования, стоит указать, что помимо очевидной фундаментальной ценности, она также является базисом противоэрозионной мелиорации, идеи которой используются и современниками. А.С. Козменко одним из первых подчеркнул, что основной вред исходит не от оврагообразования, как было принято считать ранее, а от смыва почвы. Поэтому он предлагал прежде всего бороться не с результатом (оврагами), а с первопричиной — эрозионными процессами на всей водосборной площади, посредством регулирования поверхностного стока комплексом противоэрозионных мероприятий. Этот подход изменил понимание предпосылок снижения плодородия почв и стал фундаментом для будущих



**Рис. 1.** Стадии эрозионного цикла согласно теории рельефообразования А.С. Козменко (Козменко, 1937а): А – ложбина; Б – лощина; В – суходол; I, II, III – профили соответствующих стадий: К – коренная порода; Л – покровная (лёссовая, лёссовидная) порода; Т – теневой склон; С – солнечный склон; Щ – нанос щебня; Д – дно; о-σ – ось поперечного профиля; б – берег

**Fig. 1.** Stages of the erosion cycle according to the relief formation theory of A.S. Kozmenko (Kozmenko, 1937а): А – Hollow; Б – Dry stream bed; В – Dry Valley; I, II, III – profiles of the corresponding stages: К – bedrock; Л – cover (loess, loess-like) rock; Т – shady slope; С – sunny slope; Щ – crushed stone deposit; Д – bottom; о-σ – cross-section axis; б – bank

систем защиты почв от эрозии. А.С. Козменко также создал одну из первых классификаций оврагов и смытых почв (Козменко, 1963).

Долгие годы Козменко разрабатывал и совершенствовал классификацию склоновых земель, где в пределах всего водосбора выделил три земельных фонда: приводораздельный, присетевой и гидрографический. Использование всех этих земель возможно только исходя из агроэкологических и социально-экономических особенностей, степени смытости и соответствия требованиям к возделыванию культур (Козменко, 1937а). Приводораздельный фонд характеризуется преобладанием относительно ровных участков и пологих склонов, крутизна которых не превышает 3°. Это арена формирования поверхностного стока. Почвы здесь слабосмытые или вовсе несмытые. Земли этого фонда активно используются в сельскохозяйственном обороте в зерно-паро-пропашном севообороте для выращивания зерновых (яровых, озимых) и пропашных культур (Козменко, 1937, 1937а, 1954, 1954а). Присетевые участки (крутизной свыше 3°) в связи с поступлением воды сверху характеризуются средне- и сильносмытыми почвами, менее пло-

родными и малоустойчивыми к эрозии. Земли этого фонда отводят под почвозащитные севообороты с преобладанием многолетних трав. Гидрографический фонд представлен берегами и крутыми склонами, днищами лощин, суходолов (балок) и речных долин. В пределах гидрографического фонда земли подвержены сильному смыву и размыву вплоть до образования оврагов. Его земли экономичнее использовать под сенокосы, пастбища и лесные насаждения.

С учетом научного вклада А.С. Козменко его по праву можно считать основоположником отечественного эрозиоведения. Хотя такого термина на то время не существовало, его работы послужили основой и фундаментом этого раздела в почвоведении. Уже в публикациях 1920–1930-х гг. заметно его глубокое и целостное познание эрозионных процессов на всей европейской части СССР. Ученики и последователи Козменко справедливо считают его ученым высокого уровня, сопоставимым с Докучаевым, Павловым, Дэвисом, Пенком и другими. Его учение об эрозионно-гидрологическом процессе, генезисе равнинного рельефа и противоэрозионных мелиорациях не только со-



Георгий Пантелеймонович Сурмач  
Georgy Panteleimonovich Surmach

хранило актуальность, но и было подтверждено и развито многими исследователями (Маккавеев, 1955; Сильверстов, 1955; Арманд, 1961; Швебс, 1974; Заславский, 1983; Сурмач, 1992; Гаршинев, 1999; Панов, 2011; Барабанов, 2017; Ландшафтное земледелие, 1999).

Наряду с ВНИАЛМИ идеи противоэрозионной мелиорации А.С. Козменко развивались и в других научных учреждениях: ВНИИЗиЗПЭ (Здоровцов, 2012), Почвенный институт им. В.В. Докучаева (Каштанов, 2012), РГАУ—МСХА имени К.А. Тимирязева (Кирюшин, 1993), Воронежский ГАУ (Лопырев, 2017), НИИСХ Юго-Востока (Шабаев, 2009) и многих других. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и методология проектирования наукоемких аграрных технологий академика РАН В.И. Кирюшина, адаптированные к различным агроэкологическим условиям, построены с учетом основ противоэрозионной мелиорации А.С. Козменко (Агроэкологическая оценка земель..., 2005).

Заложенные А.С. Козменко основы эрозиоведения и противоэрозионной мелиорации развиты его учеником Георгием Пантелеймоновичем Сурмачем (1915–1986).

Он в разные годы работал в ведущих научных учреждениях страны: в Почвенном институте им. В.В. Докучаева, во ВНИАЛМИ (1959–1974 гг.) и во ВНИИЗиЗПЭ (1974–1986 гг.). После многолетних научных исследований и на основе материалов ряда почвенно-эрозионных экспедиций он развил теорию рельефообразования и формирования лёссов А.С. Козменко, создал логико-графическую модель формирования склонов и покровных отложений (рис. 2), по-новому обосновал условия формирования лёссов, связал распространение лесной, травянистой растительности с почвообразованием в лесостепи и литологией толщи четвертичных

покровных отложений, обосновал генезис серых лесных почв и черноземов в лесостепи и доказал возможность существования водораздельных и байрачных лесов в степной зоне (Сурмач, 1992). Он впервые показал, что распределение лесов в лесостепи определяется не климатом, а литологическим строением пород, сформировавшимся в ходе циклического эрозионно-аккумулятивного процесса четвертичного периода. Лес занимал участки с маломощными, слоистыми и литологически неоднородными отложениями, обладающими высокой влагоемкостью и способностью удерживать продуктивную влагу, что обеспечивало формирование серых лесных почв. Степь развивалась там, где лёсс был мощным и однородным, хуже удерживающим влагу, что приводило к формированию черноземов. Литологическая неоднородность и как следствие разные гидрологические условия определили мозаичное распределение растительности. Таким образом, Г.П. Сурмач доказал, что понимание формирования рельефа и лёссов как единого процесса — ключ к объяснению происхождения серых лесных почв, черноземов и распределения лесов и степей (Сурмач, 1992).

Г.П. Сурмачем была дополнена и усовершенствована классификация склоновых земель А.С. Козменко для почв лесостепной зоны. При выделении земельных фондов наравне с крутизной склона он учитывал также его длину и степень смытости почвы. К отнесению земель к приводораздельному фонду Г.П. Сурмач подходит дифференцированно в зависимости от типа почвенного покрова: на серых лесных почвах это склоны с крутизной до 2.5–3.5°, на черноземах до 3.5–4.0°. На более длинных склонах нижнюю границу он проводил выше — в зоне с меньшей крутизной, а на коротких — ниже, по более крутой части склона. При этом обязательно учитывается степень смытости почв (Сурмач, 1961, 1976).

Им была создана новая классификация почв по степени смытости, выполнены масштабные экспериментальные исследования характеристик эрозионно-гидрологического процесса. Он разработал методику инженерного расчета противоэрозионных мероприятий и новые способы защиты почв от эрозии. Г.П. Сурмач разработал способ прогнозирования поверхностного стока талых вод, основанного на определении до момента наступления весеннего снеготаяния величин снегозапасов, глубины промерзания почвы и влажности почвы на глубину ее промерзания. При этом в расчетах учитывается тип почвенного покрова и степень уплотнения почвы. Под его непосредственным руководством во ВНИИЗиЗПЭ впервые была создана методика проектирования систем противоэрозионных меропри-

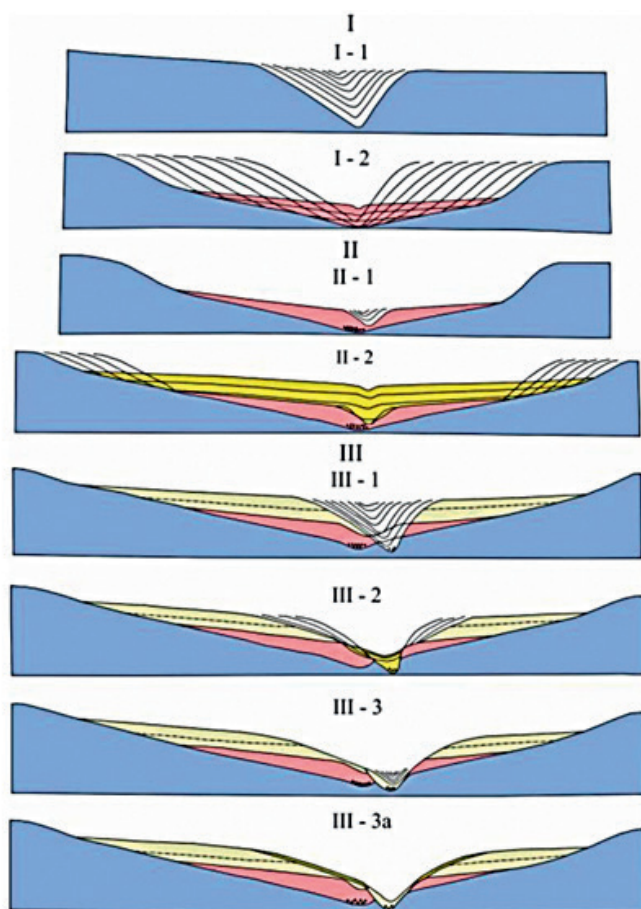


Рис. 2. Схема формирования склонов и покровных отложений в результате единого эрозионно-аккумулятивного процесса (Сурмач, 1992)

Fig. 2. Scheme of slope formation and cover deposits as a result of a single erosion–accumulation process

ятий на расчетной основе, разработана программа и методика крупномасштабного эксперимента на бассейнах малых рек Курской области.

Значительным вкладом Г.П. Сурмача в развитие эрозиоведения является создание под его руководством опытной научной сети. Благодаря ей были апробированы новые способы противоэрозионной лесомелиорации земель, отработаны агротехнологии, осуществлен подбор древесных и кустарниковых пород для защитного лесоразведения и пр. На опытных станциях велись и ведутся до настоящего времени наблюдения за природными и антропогенными факторами формирования поверхностного стока талых вод, что позволяет определить лимитирующие их значения для условий лесостепи, степи и сухой степи.

Г.П. Сурмач был наставником ряда исследователей. Так, под его руководством В.И. Королев выявил влияние лесных полос и кулис на урожайность многолетних трав при залужении эродированных склонов в Тамбовской области. Был исследован вопрос создания высокопродуктивных кормовых

угодий на землях овражно-балочного фонда с применением луго- и лесомелиоративных мероприятий. Евгений Яковлевич Тубольцев, работавший под руководством Г.П. Сурмача и А.Т. Барабанова, занимался изучением противоэрозионной эффективности агрономических и лесомелиоративных приемов на серых лесных почвах Орловской области. Им усовершенствованы принципы размещения на склонах стокорегулирующих лесных полос, усиленных гидротехническими сооружениями, получены закономерности распределения снега, его таяния. Евгений Иванович Куницкий посвятил свою научную деятельность изучению мелиоративной и противоэрозионной роли садозащитных лесных полос на склонах правобережья Нижней Волги. Им определены зоны мелиоративного влияния садозащитных лесных полос на урожайность плодовых культур, а полученные данные по снегоотложению, промерзанию почвы, стоку талых вод и эрозии почв легли в основу использования на практике проектирования садозащитных лесных полос в агроландшафтах подзоны сухих степей.

## Условные обозначения

### I – нижнечетвертичный цикл эрозии:

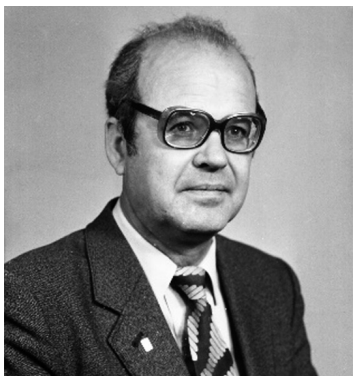
- I-1 – стадия углубления русла;
- I-2 – стадия сглаживания склона и образования лёссовых пород;

### II – среднечетвертичный цикл эрозии:

- II-1 – стадия размыва и подмыва инсолируемого берега;
- II-2 – стадия сглаживания склонов и образования лёссов;

### III – верхнечетвертичный цикл эрозии:

- III-1 – стадия размыва и подмыва инсолируемого берега
- III-2 – стадия сглаживания и отложения делювиальных суглинков;
- III-3 – размыв суходольной гидрографической сети (до формирования почв);
- III-3а – современный рельеф: а – новейшие делювиальные суглинки



Евгений Александрович Гаршинев  
Evgeniy Alexandrovich Garshinev

Глубокое и всестороннее развитие идей А.С. Козменко и Г.П. Сурмача продолжил ученик Г.П. Сурмача — доктор сельскохозяйственных наук Евгений Александрович Гаршинев (1939–2008).

Он проработал многие годы на Новосильской ЗАГЛОС им. А.С. Козменко, во ВНИАЛМИ и ВНИИЗиЗПЭ. Евгений Александрович провел большой комплекс исследований, результаты которых обобщил в своих трудах (Гаршинев, 1995, 1999, 2002). Им уточнены условия формирования эрозионно-аккумулятивных форм рельефа и создана логико-графическая схема эволюции склонов (рис. 3). Он доказал, что промоинно-овражный размыв развивается последовательно — от крутых обрывистых стенок к осыпным и далее к делювиальным склонам смыва и накопления. Им впервые показано, что форма склона напрямую отражает ход эрозионно-аккумулятивного процесса, и предложено описывать ее с помощью логистического уравнения, что в свою очередь позволило получить универсальную математическую модель выпукловогнутых склонов, полностью согласующуюся с представлениями Д.Л. Арманда (Арманд, 1961) и Л. Кинга (Кинг, 1967) о закономерностях формирования склонов на земной поверхности.

Е.А. Гаршинев сделал важный вклад в понимание гидрологического процесса и роли защитных лесных насаждений. Он оценил влияние лесных полос на поглощение талых вод мерзлой почвой и формирование стока, а также предложил и обосновал концепцию «ледяного экрана». Суть концепции заключается в том, что при оттаивании верхнего слоя почвы на границе с мерзлым слоем поры заполняются льдом (кроме макрокапиллярных), и обычная инфильтрация заменяется термоинфильтрацией — протаиванием почвы за счет теплообмена. Верхний слой насыщается влагой до полной влагоемкости, а мерзлый слой сохраняет естественный уровень увлажнения. Ледяной экран

создает условия для формирования стока талых вод даже при недостаточной увлажненности мерзлого слоя (Гаршинев, 1999). Е.А. Гаршинев также показал, что летом формируется слой со сплошной менисковой пленкой, который обеспечивает дождевой сток даже при низкой исходной влажности почвы.

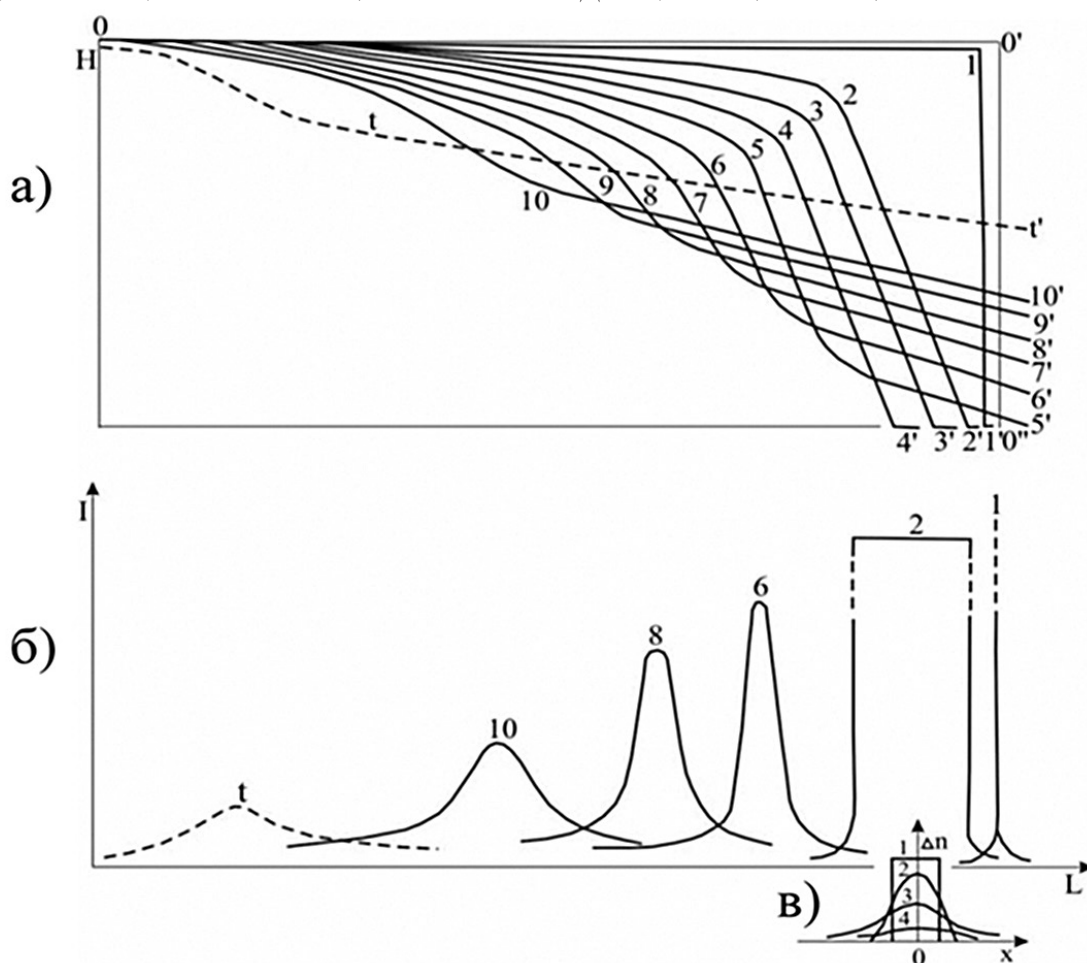
Полученные результаты позволяют применять логистическую функцию для решения широкого круга задач в прикладной геоморфологии, ландшафтоведении и почвоводоохранном земледелии, включая расчет геологического строения зоны аэрации и положения уровней грунтовых вод, комплексное ландшафтное районирование, прогнозирование естественной и антропогенной эволюции ландшафтов, аналитическое определение границ ландшафтных поясов, а также выполнение геоморфологического картографирования и расчета смыва почв. На ее основе Е.А. Гаршинев разработал уравнение для расчета смыва, использование которого и его первых четырех производных позволяет определять геоморфологические характеристики рельефа, строить карты текущих значений уклонов и смыва почв, рассчитывать противоэрозионные рубежи, включая стокорегулирующие лесополосы, и определять границы почвозащитных земельных фондов и ландшафтных полос. Таким образом, логистическая функция стала универсальным инструментом для инженерного и научного анализа рельефа и земельных ресурсов.

Сделанные Е.А. Гаршиневым важнейшие разработки нашли свое отражение в созданной в лаборатории защиты почв от эрозии технологии управления эрозионно-гидрологическим процессом и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

С 1975 по 2010 г. отдел борьбы с эрозией почв ВНИАЛМИ возглавлял доктор сельскохозяйственных наук, профессор Иван Григорьевич Зыков (1937–2020).



Иван Григорьевич Зыков  
Ivan Grigorievich Zykov



**Рис. 3.** Логико-графическая схема эволюции отметок  $H$  (а) и уклонов  $I$  (б) поверхности склона в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса. Диффузия избыточных носителей с поверхности субстрата (в): 0-1-1'...0-t-t' – временные этапы эволюции

**Fig. 3.** Logical-graphic scheme of the evolution of elevations  $H$  (а) and slopes  $I$  (б) of the slope surface during the erosion-accumulative process. Diffusion of excess carriers from the substrate surface (в): 0-1-1'...0-t-t' – time stages of evolution

Научная работа И.Г. Зыкова была направлена на изучение закономерностей оврагообразования и создание научных основ и технологий лесной мелиорации гидрографической сети и эродированных склонов. Под его руководством разработана система противоэрозионных мероприятий и подходы к оптимизации лесоаграрных ландшафтов при разных формах землепользования. Он являлся автором более 25 авторских свидетельств и патентов. Им разработаны различные способы имитации процесса оврагообразования, облесения оврагов, борьбы со смывом почв; устройства и способы для закрепления оврагов; принципиально новые способы обработки смытых почв под многолетние насаждения. Данные разработки позволили расширить возможности применения лесомелиорации, значительно повысить эффективность защитных лесных насаждений и стали важным вкладом в развитие методов защиты почв от эрозии.



Валентин Павлович Борец  
Valentin Pavlovich Borets

С 1979 по 1996 г. Новосильской опытной станцией руководил ученик Г.П. Сурмача Валентин Павлович Борец (1937–1996).

Им были определены и исследованы: влияние природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод и эффективность противоэрозионных мероприятий, лесорастительные условия на эродированных землях, тепловой баланс и энергетический режим лесомелиорируемых территорий; изменения агрохимических свойств смытых лесных почв в травянистых фитоценозах; экономическая эффективность лесомелиорации; влияние защитных лесонасаждений на перераспределение радионуклидов на склоновых землях; разработаны и апробированы лесоводственные уходы разной интенсивности и лесовозобновительные рубки в насаждениях. Прделанная Валентином Павловичем большая комплексная работа показала, что защитные лесные насаждения обладают многофункциональной (мелиоративной, рекреационной, социальной) ролью в обеспечении высокой продуктивности лесоаграрных ландшафтов.

### **ШКОЛА А.С. КОЗМЕНКО – Г.П. СУРМАЧА В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ**

Современное поколение исследователей продолжают дело учителей, А.С. Козменко и Г.П. Сурмача, и многих их последователей. С 1996 по 2024 г. научные работы на Новосильской ЗАГЛОС проводились под руководством ученика Г.П. Сурмача Анатолия Ивановича Петелько (1938–2024).

Анатолий Иванович внес значительный вклад в развитие и популяризацию агролесомелиорации и противоэрозионной защиты склоновых земель. Основными направлениями его исследований являлись изучение эффективности противоэрозионных мероприятий в садах на склонах и разработка технологий оптимальных агролесомелиоративных комплексов для управления эрозионно-гидрологическим процессом; изучение лесной мелиорации овражно-балочных земель и рационального использования присетевых земель; исследование влияния стокорегулирующих лесополос разной конструкции на природные факторы поверхностного стока талых вод и интенсивность эрозионно-гидрологического процесса (Петелько, Новиков, 1999). Он активно сотрудничал с российскими эрозиоведами Почвенного института им. В.В. Докучаева, МГУ им. М.В. Ломоносова, Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, Санкт-Петербургского государственного университета и др. (Трофимец и др., 2023; Голосов и др., 2022, 2024).

Учеником Г.П. Сурмача был Валерий Витальевич Демидов – доктор биологических наук, профессор кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова.

Он посвятил свою научную деятельность исследованию воздействия агротехнических приемов, лесных полос и природных факторов на устойчивость почв к смыву, позже сосредоточившись на закономерностях формирования эрозионных процессов в период снеготаяния, поверхностном стоке и переносе веществ. Его работы легли в основу научно обоснованных систем почвозащитных мероприятий, а более ста публикаций и монографий отражают значительный вклад в понимание механизмов эрозии и разработку подходов к охране почв (Демидов, 2016; Федотов и др., 2024).

Учеником А.Т. Барабанова был Максим Михайлович Кочкарь. Он сосредоточился на изучении проблемы эрозии почв и эрозионной устойчивости склоновых земель.

Им изучены факторы, влияющие на формирование поверхностного стока талых вод, и разработаны меры по противодействию эрозии. В ходе дальнейшей работы он уделял значительное внимание агролесомелиорации, а именно созданию и использованию защитных лесных полос, противоэрозионных насаждений и других биологических способов стабилизации агроландшафтов. Им в соавторстве с другими учеными ВНИАЛМИ был получен патент на способ регулирования снегоотложения, который обеспечивает предохранение почвы от промерзания, повышение снегозапасов в поле, увеличение водопроницаемости почв, уменьшение стока и эрозии.

Сотрудники лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН В.И. Панов, А.В. Кулик, О.А. Гордиенко, С.В. Петров, А.Д. Митрофанова под руководством Анатолия Тимофеевича Барабанова продолжили развитие теории рельефообразования, исследования закономерностей эрозионно-гидрологического процесса и разработку системы противоэрозионных мероприятий.

Используя наработки учителей, результаты собственных исследований, а также обобщения данных ВНИАЛМИ и литературных источников, они получили новые знания, которые способствовали созданию системы управления эрозионно-гидрологическим процессом (Барабанов, 2025): концепция эрозионной самоорганизации равнинного рельефа, научные основы современного синергетического эрозиоландшафтоведения; теория взаимодействия талой воды с мерзлой почвой и формирования стока талых вод, позволившая по-новому подойти к характеристике эрозионно-гидрологического процесса; закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод, открывший новое направление поиска путей, принципов и подходов к решению проблемы защиты почв от эрозии; математические

модели формирования поверхностного стока талых вод, указывающие на новый подход к совершенствованию метода прогнозирования стока; концептуальные положения, пути и принципы разработки системы управления эрозионно-гидрологическим процессом, определившие направление создания адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

В развитие теории рельефообразования большой вклад внес ученик Г.П. Сурмача Валерий Иванович Панов, кандидат географических наук, по образованию инженер лесного хозяйства.

Он с 1963 г. по настоящее время работает на Поволжской агролесомелиоративной опытной станции (п. Новоберезовский Самарской обл.). Опираясь на фундаментальные идеи А.С. Козменко, он продвинул развитие противоэрозионной мелиорации (Панов, 2021): разработал схему эрозионной самоорганизации равнинного рельефа и заложил научные основы современного синергетического эрозиоландшафтоведения. Панов вычислил оптимальные пропорции угодий (пашня: степь: лес: водные объекты: поселения) для эталонных балочных и речных агроландшафтов (Панов, 2021а). Используя синергетический подход и концепцию открытых самоорганизующихся систем, сформированную Козменко — Сурмачем, он раскрыл принципы самоорганизации склоново-бассейновых элементов рельефа и предложил классификацию самоорганизованной гидрографической сети (Панов, Кулик, 2021). Изучение им эрозионных процессов, протекающих естественно в природной среде, с позиций открытых нелинейных сложных взаимодействующих систем открывает новые возможности их более глубокого познания и положительного решения стоящих перед учеными проблем сохранения плодородия почв и земельных ресурсов. Эрозия как явление и процесс, с позиции самоорганизации открытых взаимодействующих систем (синергетической парадигмы), порядка и хаоса, принадлежит к научным категориям всеобщего понятия. В.И. Панов экспериментально установил численные величины потерь влаги из-за ветрометельной сублимации и переноса снега в степных агроценозах. Он доказал, что лесные насаждения существенно ослабляют аэрогидродинамические потоки, уменьшают их разрушительное действие, укрепляют полезные элементы водного баланса и снижают физическое испарение и транспирацию на 15–20%, тем самым уменьшая эрозию и повышая устойчивость агроландшафтов.

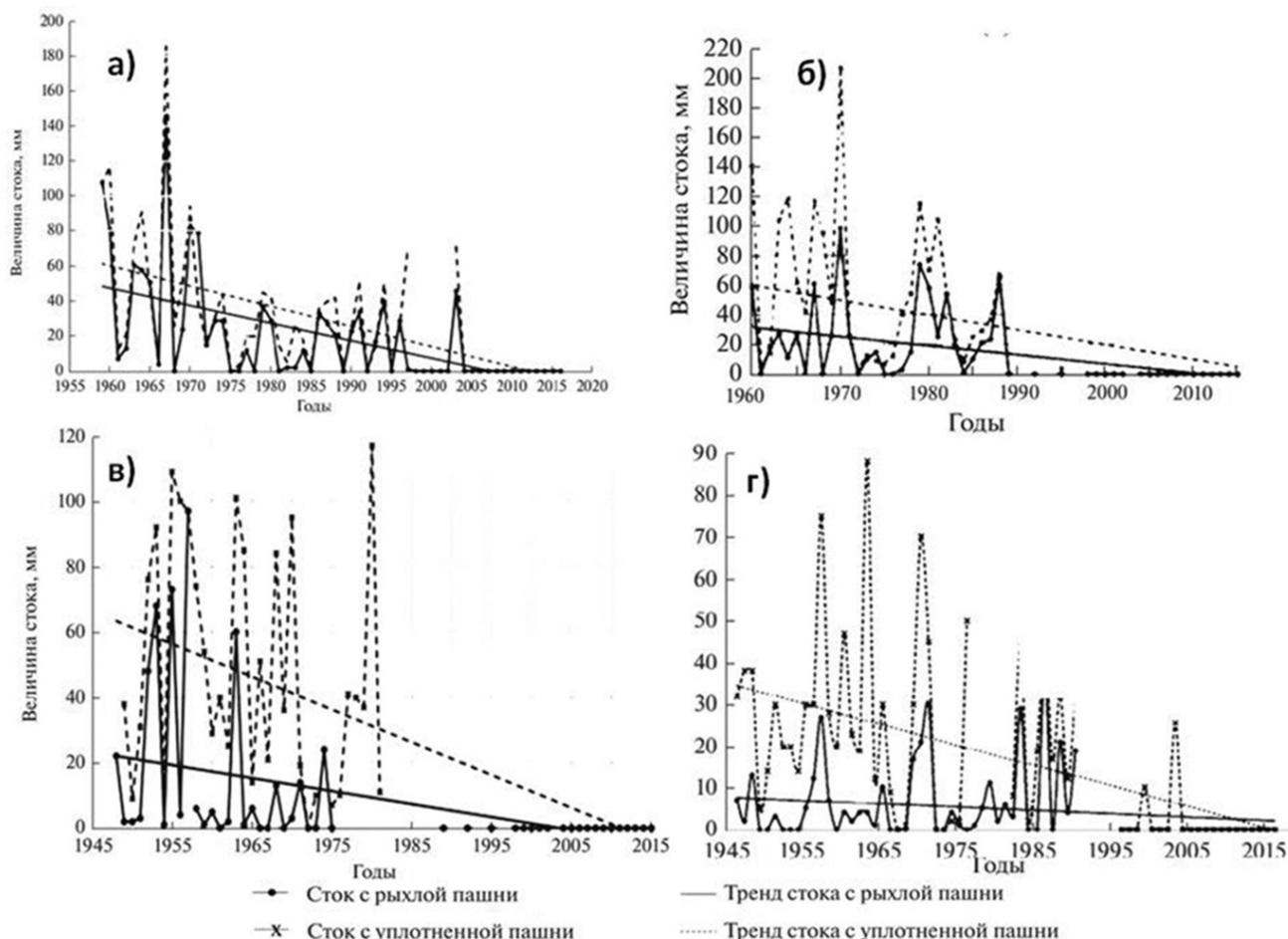
Кроме разработок по вопросам рельефообразования, важную роль в решении проблемы защиты почв от эрозии играют гидрологические процессы. На созданных в 1958 г. Г.П. Сурмачем стоково-

эрозионных стационарах в разных природных зонах были проведены многолетние исследования эрозионно-гидрологического процесса. Это позволило уточнить представления о закономерностях этого процесса, охарактеризовать процесс взаимодействия талой воды с мерзлой почвой, усовершенствовать существующие и разработать новые противоэрозионные приемы и комплексы.

По полученным многолетним (свыше 60 лет) данным были рассчитаны и построены теоретические кривые вероятности превышения склонового стока, определены показатели среднего и разной вероятности превышения поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни, установлена динамика весеннего стока (рис. 4) (Барабанов, 2017).

Разработана теория формирования склонового стока с теплофизической позиции водопоглощения в мерзлую почву и концепции формирования ледяного экрана. Она основывается на следующих разработанных нами фундаментальных положениях (Барабанов, 2025): впитывание талой воды в мерзлую почву происходит путем ее просачивания в свободные поры в верхнем оттаивающем слое мощностью *не более 30 см* — в процессе впитывания снеговой воды в почву между мерзлым нижним и оттаявшим верхним слоями образуется ледяной экран, прекращающий процесс впитывания; в мерзлую почву может просочиться количество воды, равное объему свободных пор в оттаявшем сверху слое почвы; на величину склонового стока талых вод влияют снеготпасы и влажность верхнего (до 30 см) слоя почвы, от которой зависит объем свободных пор.

Обобщение многолетних данных ВНИАЛМИ и других исследователей показало, что поверхностный сток талых вод зависит от трех факторов: снеготпасы, влажность почвы и глубина ее промерзания, при этом их влияние взаимосвязанно. На основе теоретических и экспериментальных исследований А.Т. Барабанов сформулировал закон лимитирующих факторов поверхностного стока и разработал методику его высокоточного (80–100%) и заблаговременного (1.5–2 месяца) прогнозирования (Барабанов, 2017). Суть закона заключается в том, что, если хотя бы один из трех факторов находится ниже лимитирующего уровня, сток не формируется, независимо от остальных. Например, при талой почве или промерзании до  $\leq 50$  см стока нет, независимо от увлажнения и снеготпасов; увеличение промерзания выше лимита не изменяет сток. При достаточной глубине промерзания решающими становятся влажность почвы и снеготпасы. Если верхний слой почвы



**Рис. 4.** Динамика стока талых вод на серых лесных почвах лесостепи (а), выщелоченных (б) и обыкновенных черноземах (в), светло-каштановых почвах (г) (Барабанов, 2017)

**Fig. 4.** Dynamics of meltwater runoff on gray forest soils of the forest-steppe (a), leached chernozems (б), typical chernozems (в), and light chestnut soils (г)

(0–50 см) увлажнен более 70–130 мм (по зонам), сток формируется независимо от промерзания и снегозапасов — здесь лимитирующим фактором является влажность.

Закон лимитирующих факторов стока позволяет подходить к разработке новых противоэрозионных приемов, ориентируясь на их влияние на конкретные факторы. Если тот или иной прием не воздействует ни на один из трех лимитирующих факторов, он не влияет на поверхностный сток. Например, традиционные противоэрозионные агротехнические меры (искусственный микрорельеф, вспашка поперек склона и щелевание почвы) оказывают лишь незначительное регулирование стока, так как мало влияют на природные факторы, обуславливающие водопроницаемость почвы (Барабанов, 2023). На основе этих положений был разработан ряд новых методов регулирования стока, включающих: крупнополосное размещение культур в межполос-

ном пространстве стокорегулирующих лесополос, где в зонах снежных шлейфов размещают яровые культуры или пары, а между ними многолетние травы и мульча; прогнозирование поверхностного стока талых вод по глубине промерзания, запасам влаги в почве, снеге и ледяной корке; создание систем лесополос с изменяющейся по склону ветропроницаемостью от продуваемой к плотной.

Разработан новый способ расчета поверхностного стока талых вод на сельскохозяйственных угодьях (Барабанов, 2025). Отличительная новизна этого подхода заключается в том, что для его расчета достаточно учитывать только верхний слой почвы до 30 см, поскольку именно в нем происходит впитывание талой воды (термоинфильтрация). Для прогнозирования используются показатели только этого слоя: глубина промерзания, запасы воды в снеге и почве, общая и свободная порозность, плотность почв и плотность твердой фазы.

Важнейшим механизмом регулирования стока является предотвращение промерзания почвы или максимальное его снижение. Это достигается двумя основными путями: формированием мощного снежного покрова на ранних этапах зимы для слабого промерзания почвы, и второй путь — устройство канав глубиной 1–1.5 м, доходящих до незамерзшей почвы. Это особенно эффективно в сочетании с лесополосами. На основе первого положения была разработана комбинированная конструкция лесополосы с низкорослым кустарником, характеризующаяся разной степенью ажурности по профилю. Нижняя часть плотная, средняя — продуваемая, а верхняя — плотная или ажурная. Для оптимального снегоотложения на склонах разработан способ предотвращения смыва почв за счет сохранения полосно стерни разной высоты по склону.

В лаборатории защиты почв от эрозии разработана технология управления эрозионно-гидрологическим процессом и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия (рис. 5). Строится она на основе положения о функции формы склона как функции эрозии и аккумуляции, обоснованного Е.А. Гаршиным (Гаршин, 1999). Им разработаны методика расчета текущего смыва в любой точке склона и определение места стокорегулирующих лесных полос. Суть разработки заключается в комплексном геоморфологическом анализе с созданием картографического материала и полевым обследованием территории, определении величины поверхностного стока (по картам стока, разработанным А.Т. Барабановым (Барабанов, 2017)) и расчете смыва почв по уравнению Е.А. Гаршина (Гаршин, 1999), организации землепользования с размещением полей севооборотов, стокорегулирующих лесополос на пахотных землях и лесонасаждений на гидрографической сети, включая прибалочные и приовражные лесополосы, насаждения на балках и оврагах, а также в лесомелиоративном адаптивно-ландшафтном обустройстве территории с расчетом расстояний между рубежами, определением их местоположения на местности и подбором параметров, таких как конструкция, виды пород, количество рядов, ширина между рядов и другие (Гаршин, 2002).

В настоящее время сотрудники лаборатории защиты почв от эрозии под руководством А.Т. Барабанова на основе полученных новых знаний и преемственности поколений ученых работают над совершенствованием теоретических основ взаимодействия талой воды с мерзлой почвой, математическим моделированием формирования

поверхностного стока талых вод; усовершенствованием концепции образования ледяного экрана и методики высокоточного прогнозирования стока талых вод. В полевом опыте изучаются особенности формирования факторов эрозионно-гидрологического процесса под влиянием лесополос комбинированной конструкции при разном размещении в них низкорослого кустарника и их снегорегулирующая роль; динамика порозности почвы за зимний период и ее влияние на поверхностный сток талых вод и пр. (Петелько и др., 2023; Кулик, Гордиенко, 2022; Кулик и др., 2022).

В 2023 г. сотрудниками лаборатории защиты почвы от эрозии были подготовлены и изданы избранные труды школы эрозиоведения Козменко — Сурмача в четырех томах (<https://vfanc.ru/innovacii/gazrabotki/#1703141948776-74c26193-568f>). В эти тома вошли ранее опубликованные работы ученых школы. Особая ценность этих избранных трудов заключается, помимо прочего, и в том, что в них впервые собраны ранее неизданные статьи, монографии и книги таких выдающихся ученых, как Г.П. Сурмач и Е.А. Гаршин, а также редкие книги и монографии А.С. Козменко, написанные по русской дореформенной орфографии. Часть материалов оставалась малоизвестной, многие из них публиковались локально, в Волгограде, и не имели широкого распространения в других регионах России, а ряд книг выходил в те годы, когда возможности передачи научной информации были значительно ограничены.

Создание избранных трудов стало важным событием для научного сообщества. Теперь уникальные исследования по эрозии почв и смежным областям доступны широкому кругу специалистов — эрозиоведам, почвоводам, географам, земледельцам, агролесомелиораторам и др. Это позволяет не только сохранить научное наследие предыдущих поколений, но и сделать его доступным для изучения, анализа и использования в современных исследованиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заложенные сто лет назад основы противоэрозионной мелиорации А.С. Козменко в результате преемственности нескольких поколений ученых получили последовательное развитие и сегодня служат фундаментом эрозионнобезопасного, высокопродуктивного земледелия, основанного на адаптивно-ландшафтном обустройстве территории и формировании агролесомелиоративного экологического каркаса.

Основоположник школы эрозиоведения А.С. Козменко, обладавший большим научным



Рис. 5. Технология создания систем управления эрозионно-гидрологическим процессом и разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия

Fig. 5. Technology for developing systems to manage erosion–hydrological processes and for designing adaptive landscape-based farming systems

и практическим опытом, заложил основы теории рельефообразования, которая позднее была дополнена Г.П. Сурмачем и усовершенствована Е.А. Гаршиным. Им также были разработаны научные основы противозерозионной мелиорации, которые стали фундаментом современных систем адаптивно-ландшафтного земледелия.

Благодаря основам, заложенным А.С. Козменко и Г.П. Сурмачем, их ученики и последователи продолжали совершенствовать их разработки и получать новые знания. Были разработаны новые методические подходы к изучению процессов эрозии на основе исследования закономерностей формирования поверхностного стока; получили научное обоснование методы адаптивно-ландшафтного обустройства территории водосборов и размещения на них стокорегулирующих лесополос и других рубезей на расчетной основе; созданы новые приемы, технологии и система управления эрозионно-гидрологическим процессом.

Сейчас научные исследования направлены на изучение физики эрозионно-гидрологического процесса, совершенствование прогноза поверхностного стока талых вод, апробирование новых способов борьбы с эрозией почв.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН № FNFE-2025-0005.

## ЛИТЕРАТУРА

Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: методическое руководство / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: ФГНУ Росинформагротех, 2005. 784 с.

Арманд Д.Л. Физико-географические основы проектирования сети полевых защитных лесных полос. М.: АН СССР, 1961. 367 с.

Барабанов А.Т. Обоснование роли и места стокорегулирующих мероприятий в борьбе с деградацией почв и опустыниванием земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1(69). С. 36–46.

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-03.

Барабанов А.Т. Основы управления эрозионно-гидрологическим процессом на склоновых землях путем формирования почвозащитных систем адаптивно-ландшафтного земледелия // Почвоведение. 2023. № 1(69). С. 36–46.

дение. 2025. № 10. С. 1367–1377.  
DOI: 10.7868/S3034561825100108.

Барабанов А.Т. Формирование весеннего склонового стока на сельскохозяйственных землях лесостепной и степной зон европейской части России // География и природные ресурсы. 2024. № 3. С. 113–119. DOI: 10.15372/GIPR.20240311.

Барабанов А.Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 188 с.

Гаршинев Е.А. Противоэрозионная лесомелиорация и эволюция эрозионно-гидрологического процесса: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Волгоград, 1995. 48 с.

Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация. Экспериментальная оценка, расчет, проектирование. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. 220 с.

Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс. Теория и модели. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. 196 с.

Голосов В.Н., Жидкин А.П., Петелько А.И. и др. Полевая верификация эрозионных моделей на основе исследований малого водосбора в бассейне р. Воробжи (Курская область) // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1321–1338.

Голосов В.Н., Шамшурина Е.Н., Колос Г.И., Петелько А.И., Жидкин А.П. Пространственно-временные изменения эрозионно-аккумулятивных процессов на малом водосборе в северной части Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2024. № 5. DOI: 10.1134/S1064229323603682.

Демидов В.В. Закономерности формирования эрозионных процессов при снеготаянии в лесостепной зоне центральной России: теория и экспериментальные исследования: монография. Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью «Центр развития научного сотрудничества», 2016. 62 с.

Заславский М.Н. Эрозиоведение. М.: Высшая школа, 1983. 320 с.

Здоровцов И.П. Влияние почвоводоохранного земледелия на эрозионно-гидрологические процессы и продуктивность агроландшафтов в ЦЧР // Известия Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 7. С. 53–54.

Зюзь Н.С. Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации (ВНИАЛМИ). Краткая история. ВНИАЛМИ. Волгоград, 2005. 116 с.

Каштанов А.Н. Почвы России, их состояние и системы земледелия (к 120-летию Докучаевского

комплекса в Каменной Степи и 100-летию Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 3(34). С. 36–40.

Кинг Л. Морфология земли. М.: Прогресс, 1967. 560 с.

Кирюшин В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. Пушкино, 1993. 64 с.

Козменко А.С. Борьба с эрозией почв на сельскохозяйственных угодьях. М.: Изд-во с.-х. литературы, 1963. 208 с.

Козменко А.С. Борьба с эрозией почв. М.: Сельхозгиз, 1954. 229 с.

Козменко А.С. Основы противоэрозионной мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1954а. 424 с.

Козменко А.С. Работы Новосильской опытно-овражной станции по изучению приемов борьбы с эрозией // Эрозия почв. М.Л.: АН СССР, 1937. С. 155–185.

Козменко А.С. Теоретические основы борьбы с эрозией почв // Эрозия почв. М.-Л.: АН СССР, 1937а. С. 67–99.

Кулик А.В., Гордиенко О.А. Условия формирования поверхностного стока талых вод на склоновых землях юга Приволжской возвышенности // Почвоведение. 2022. № 1. С. 44–54.  
DOI: 10.31857/S0032180X22010099.

Кулик А.В., Гордиенко О.А., Шайфуллин М.Р. Динамика промерзания и оттаивания почвы в агролесоландшафте // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022. № 112. С. 160–180.  
DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-160-180.

Ландшафтное земледелие / А.Н. Каштанов [и др.]; под общ. ред. А.Н. Каштанова, А.П. Щербакова // Концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствования систем земледелия на ландшафтной основе. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 1999. Ч. 1. 98 с.

Лопырев М.И., Стекольников К.Е. Опыт планирования и внедрения эколого-ландшафтных систем земледелия в Центральном Черноземье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 4(66). С. 8–10.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: АН СССР, 1955. 346 с.

Панов В.И. Ландшафтный гидромелиоративно-гидротехнический кластер в ландшафтно-синергетическом агроэкологическом природопользовании степного засушливого пояса России // Научно-агрономический журнал. 2021. № 1(112). С. 6–18.  
DOI: 10.34736/FNC.2021.112.1.001.

Панов В.И. Оптимизация соотношения основных ландшафтных угодий (кластеров) в бассей-

новом агроэколандшафте степного засушливого пояса России // Научно-агрономический журнал. 2021а. № 2(113). С. 6–17.

DOI: 10.34736/FNC.2021.113.2.001.

Панов В.И. Синергетическое эрозиоландшафтоведение: теория и практика самоорганизации гидрологических и эрозионных процессов, рельефа и ландшафтов // Защитное лесоразведение в Российской Федерации: материалы науч.-практ. конф., Волгоград, 17–19 окт. 2011 г. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. С. 231–240.

Панов В.И., Кулик А.В. Древнеэрозионная и современная самоорганизация равнинного рельефа суши степного пояса Евразии // Научно-агрономический журнал. 2021. № 3(114). С. 20–31.

DOI: 10.34736/FNC.2021.114.3.002.

Петелько А.И., Барабанов А.Т., Выпова А.В. Влияние низкорослого кустарника в стокорегулирующей лесополосе комбинированной конструкции на факторы стока и элементы водного баланса в лесостепи бассейнов Центрального Нечерноземья // Природообустройство. 2023. № 4. С. 28–34. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-28-34.

Петелько А.И., Новиков Н.Е. Предложения по защите почв от водной эрозии в Центральном районе Нечерноземья. Орёл, 1999. 32 с.

Постановление Совета Труда и Оборона от 29 апреля 1921 г. «О борьбе с засухой» // Электронная библиотека исторических документов. <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/354768> (Дата обращения: 24.11.2025).

Постановления первого Всесоюзного совещания по борьбе с эрозией почв в СССР 4–7 марта 1936 г. Москва // Борьба с эрозией почв в СССР. Материалы первого Всесоюзного совещания по борьбе с эрозией почв. Изд-во Академии наук СССР. М., Л., 1938. С. 13–22.

Сильверстов С.И. Рельеф и земледелие. М.: Сельхозгиз, 1955. 288 с.

Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года / А.Л. Иванов [и др.]. Волгоград: ИПК Волгоградской ГСХА «Нива», 2009. 304 с.

Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. 254 с.

Сурмач Г.П. Пути борьбы с эрозией почв в СССР // Итоги работы института, опытных станций и пунктов (ВНИАЛМИ). Волгоград, 1961. Т. 1. Вып. 35. С. 45–66.

Сурмач Г.П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. Волгоград, 1992. 175 с.

Трофимец Л.Н., Паниди Е.А., Кочуров Б.И., Чадаева Н.Н., Тяпкина А.П., Сараева А.М., Тарасов А.В., Баркалов А.О., Петелько А.И. Количественная оценка эрозионных потерь почвы на различных участках распаханного склона (бассейн Верхней Оки). ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационная поддержка устойчивого развития регионов в условиях кризиса: Материалы Международной конференции. М.: Географический факультет МГУ, 2023. Т. 29. Ч. 1. С. 361–377.

DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-361-377.

Федотов Г.Н. и др. Взаимосвязь механизмов формирования эрозионной стойкости и водостойчивости почв / Г.Н. Федотов, Д.А. Тарасенко, В.В. Демидов, И.В. Горепекин, М.Н. Егорова, А.И. Сухарев // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2024. Т. 79. № 3. С. 80–87.

Шабаетов А.И. Почвоводоохранная мелиорация и ресурсосбережение в адаптивно-ландшафтном земледелии // Земледелие. 2009. № 1. С. 610.

Швебс Г.И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 184 с.

## ОБ АВТОРАХ

Анатолий Тимофеевич Барабанов, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник — заведующий лабораторией защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград.

Валерий Иванович Панов, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Поволжской АГЛОС — филиала ФНЦ агроэкологии РАН, п. Новоберезовский, Самарская обл.

Анастасия Витальевна Выпова, директор Новосильской ЗАГЛОС — филиала ФНЦ агроэкологии РАН, г. Мценск, Орловская обл.

Анастасия Владимировна Кулик, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград.

Олег Андреевич Гордиенко, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград.

Анна Дмитриевна Митрофанова, лаборант-исследователь лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград.

Станислав Викторович Петров, лаборант-исследователь лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград.

## THE DEVELOPMENT HISTORY OF KOZMENKO-SURMACH SCIENTIFIC EROSION STUDIES SCHOOL

A.T. Barabanov<sup>1\*</sup>, V.I. Panov<sup>2</sup>, A.V. Vyрova<sup>3</sup>, A.V. Kulik<sup>1</sup>, O.A. Gordienko<sup>1</sup>,  
A.D. Mitrofanova<sup>1</sup>, S.V. Petrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FSC of Agroecology of the RAS), Volgograd, Russia*

<sup>2</sup>*Volga Agroforestry Experimental Station – branch of the FSBSI “Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (Volga Agroforestry Experimental Station – branch of the FSC of Agroecology of the RAS), Samara region, Russia*

<sup>3</sup>*Novosil'skaya Zonal Agroforestry Experimental Station – branch of the FSBSI “Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (Novosil'skaya Zonal Agroforestry Experimental Station – branch of the FSC of Agroecology of the RAS), Oryol region, Russia*

\*barabanov-a@vfanc.ru

**Abstract.** The review presents the key results of many years of research conducted by the Kozmenko–Surmach scientific school of erosion studies. This school has made a significant contribution to the development of national science on the erosion–hydrological process (EHP) and to the formation of the foundations of anti-erosion reclamation, which have become the basis for modern adaptive–landscape farming systems. A.S. Kozmenko was one of the first researchers in Russia to carry out systematic studies of the EHP and to develop measures for its regulation, proposing an original theory of relief formation. His student, G.P. Surmach, expanded and deepened these ideas, conducted large-scale soil–erosion studies, improved the theory of relief formation, substantiated the theory of the formation of grey forest soils and chernozems in the forest-steppe zone, proposed a classification of soils by the degree of erosion, and developed a method for forecasting snowmelt runoff. The development of the school's concepts was continued by E.A. Garshinev, V.P. Borets, A.T. Barabanov, V.I. Panov, A.I. Petelko, and other researchers. Based on the theory of relief formation, scientific foundations were established for adaptive–landscape organization of catchments and for the placement of runoff-regulating shelterbelts and other protective barriers; new techniques, technologies, and a system for managing the erosion–hydrological process were developed; and a methodology for high-precision forecasting of surface snowmelt runoff was created. The long-term research in the field of soil erosion control and anti-erosion reclamation has continued to evolve and today serves as a scientific basis for sustainable agro-environmental management. The accumulated experience, theoretical principles, and applied developments are becoming increasingly relevant under growing anthropogenic pressure and climate change.

**Keywords:** relief formation, surface runoff, erosion-hydrological process, soil erosion, soil conservation measures, adaptive landscape agriculture

### ACKNOWLEDGMENTS

The research was carried out as part of the state assignment of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences No. FNFE-2025-0005.

### REFERENCES

Adaptive-Landscape Farming System of the Volgograd Region for the Period up to 2015 / A.L. Ivanov et al. Volgograd: IPK Volgogradskoy GSKhA “Niva”, 2009. 304 p. (In Russ.)

Agroecological Assessment of Lands, Design of Adaptive-Landscape Farming Systems and Agro-technologies: Methodological Guidelines / Ed. by V.I. Kiryushin, A.L. Ivanov. Moscow: FGNU Rosinformagrotekh, 2005. 784 p. (In Russ.)

Armand D.L. Physical-Geographical Foundations for Designing Shelterbelt Networks. Moscow: AN SSSR, 1961. 367 p. (In Russ.)

Barabanov A.T. Erosion–Hydrological Assessment of the Interaction of Natural and Anthropogenic Factors in the Formation of Meltwater Surface Runoff and Adaptive-Landscape Agriculture. Volgograd: FNTs Agroekologii RAN, 2017. 188 p. (In Russ.)

Barabanov A.T. Formation of Spring Slope Runoff on Agricultural Lands of the Forest-Steppe and Steppe Zones of the European Part of Russia // *Geografiya i Prirodnye Resursy*. 2024. No. 3. P. 113–119.

DOI: 10.15372/GIPR20240311. (In Russ.)

Barabanov A.T. Fundamentals of Managing the Erosion–Hydrological Process on Sloping Lands through the Formation of Soil-Protective Systems of Adaptive-Landscape Agriculture // *Pochvovedenie*.

2025. No. 10. P. 1367–1377.  
DOI: 10.7868/S3034561825100108. (In Russ.)
- Barabanov A.T. Substantiation of the Role and Place of Runoff-Regulating Measures in Combating Soil Degradation and Land Desertification. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agro-Universitetskogo Kompleksa: Nauka i Vysshee Professional'noe Obrazovanie*. 2023. No. 1(69). P. 36–46.  
DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-03. (In Russ.)
- Demidov V.V. Patterns of Erosion Process Formation during Snowmelt in the Forest-Steppe Zone of Central Russia: Theory and Experimental Studies. Novosibirsk: Tsentr Razvitiya Nauchnogo Sotrudnichestva, 2016. 62 p. (In Russ.)
- Fedotov G.N., Tarasenko D.A., Demidov V.V., Gorepekin I.V., Egorova M.N., Sukharev A.I. Relationships between Mechanisms of Erosion Resistance and Water Stability Formation in Soils // *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 2024. Vol. 79. No. 3. P. 80–87. (In Russ.)
- Garshinev E.A. Anti-Erosion Forest Reclamation and the Evolution of the Erosion–Hydrological Process. Extended Abstract of Doctoral Dissertation. Volgograd, 1995. 48 p. (In Russ.)
- Garshinev E.A. Erosion–Hydrological Process and Forest Reclamation: Experimental Assessment, Calculation, Design. Volgograd: VNIALMI, 2002. 220 p. (In Russ.)
- Garshinev E.A. Erosion–Hydrological Process: Theory and Models. Volgograd: VNIALMI, 1999. 196 p. (In Russ.)
- Golosov V.N., Shamshurina E.N., Kolos G.I., Petelko A.I., Zhidkin A.P. Spatiotemporal Changes in Erosion–Accumulation Processes in a Small Catchment in the Northern Part of the Central Russian Upland // *Pochvovedenie*. 2024. No. 5.  
DOI: 10.1134/S1064229323603682. (In Russ.)
- Golosov V.N., Zhidkin A.P., Petelko A.I., et al. Field Verification of Erosion Models Based on Studies of a Small Catchment in the Vorobzha River Basin (Kursk Oblast) // *Pochvovedenie*. 2022. No. 10. P. 1321–1338. (In Russ.)
- Kashtanov A.N. Soils of Russia, Their Condition and Farming Systems (to the 120th Anniversary of the Dokuchaev Complex in Kamennaya Steppe and the 100th Anniversary of Voronezh State Agrarian University) // *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2012. No. 3(34). P. 36–40. (In Russ.)
- King L. The Morphology of the Earth. Moscow: Progress, 1967. 560 p. (In Russ.)
- Kiryushin V.I. The Concept of Adaptive-Landscape Agriculture. Pushchino, 1993. 64 p. (In Russ.)
- Kozmenko A.S. Combating Soil Erosion on Agricultural Lands. Moscow: Izd-vo Sel'skokhozyaystvennoy Literatry, 1963. 208 p. (In Russ.)
- Kozmenko A.S. Combating Soil Erosion. Moscow: Sel'khozgiz, 1954. 229 p. (In Russ.)
- Kozmenko A.S. Fundamentals of Anti-Erosion Reclamation. Moscow: Sel'khozgiz, 1954a. 424 p. (In Russ.)
- Kozmenko A.S. Theoretical Foundations of Combating Soil Erosion. In: *Eroziya Pochv*. Moscow–Leningrad: AN SSSR, 1937a. P. 67–99. (In Russ.)
- Kozmenko A.S. Works of the Novosil Experimental Gully Station on Studying Methods of Combating Erosion. In: *Eroziya Pochv*. Moscow–Leningrad: AN SSSR, 1937. P. 155–185. (In Russ.)
- Kulik A.V., Gordienko O.A. Conditions for the Formation of Meltwater Surface Runoff on Sloping Lands of the Southern Volga Upland. *Pochvovedenie*. 2022. No. 1. P. 44–54.  
DOI: 10.31857/S0032180X22010099. (In Russ.)
- Kulik A.V., Gordienko O.A., Shaifullin M.R. Dynamics of Soil Freezing and Thawing in an Agroforestry Landscape. *Byulleten' Pochvennogo Instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2022. No. 112. P. 160–180.  
DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-160-180. (In Russ.)
- Landscape Farming / A.N. Kashtanov et al.; ed. by A.N. Kashtanov, A.P. Shcherbakov. In: *Kontseptsiya Formirovaniya Vysokoproduktivnykh Ekologicheskii Ustoychivyykh Agrolandshaftov i Sovershenstvovaniya Sistem Zemledeliya na Landshaftnoy Osnove*. Kursk: VNIIZiZPE, 1999. Pt. 1. 98 p. (In Russ.)
- Lopyrev M.I., Stekolnikov K.E. Experience in Planning and Implementing Ecological-Landscape Farming Systems in the Central Black Earth Region // *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2017. No. 4(66). P. 8–10. (In Russ.)
- Makkaveev N.I. River Channel and Erosion in Its Basin. Moscow: AN SSSR, 1955. 346 p. (In Russ.)
- Panov V.I. Landscape Hydromeliorative–Hydrotechnical Cluster in Landscape-Synergetic Agroecological Nature Management of the Steppe Arid Belt of Russia // *Nauchno-Agronomicheskii Zhurnal*. 2021. No. 1(112). P. 6–18.  
DOI: 10.34736/FNC.2021.112.1.001. (In Russ.)
- Panov V.I. Optimization of the Ratio of Main Landscape Lands (Clusters) in a Basin Agroecolandscape of the Steppe Arid Belt of Russia // *Nauchno-Agronomicheskii Zhurnal*. 2021a. No. 2(113). P. 6–17.  
DOI: 10.34736/FNC.2021.113.2.001. (In Russ.)
- Panov V.I. Synergetic Erosiolandscape Science: Theory and Practice of Self-Organization of Hydrological and Erosion Processes, Relief and Landscapes. In:

Zashchitnoe Lesorazvedenie v Rossiyskoy Federatsii. Volgograd: VNIALMI, 2011. P. 231–240. (In Russ.)

Panov V.I., Kulik A.V. Ancient Erosional and Modern Self-Organization of the Plain Land Relief of the Eurasian Steppe Belt // Nauchno-Agronomicheskii Zhurnal. 2021. No. 3(114). P. 20–31.

DOI: 10.34736/FNC.2021.114.3.002. (In Russ.)

Petelko A.I., Barabanov A.T., Vypova A.V. Influence of Low-Growing Shrubs in a Runoff-Regulating Forest Belt of Combined Design on Runoff Factors and Water Balance Elements in the Forest-Steppe of Central Non-Chernozem Basins // Prirodoobustroystvo. 2023. No. 4. P. 28–34.

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-28-34. (In Russ.)

Petelko A.I., Novikov N.E. Proposals for Soil Protection against Water Erosion in the Central Regions of the Non-Chernozem Zone. Orel, 1999. 32 p. (In Russ.)

Resolution of the Council of Labor and Defense of April 29, 1921 “On Combating Drought”. Elektron-naya Biblioteka Istoricheskikh Dokumentov. Accessed 24.11.2025. (In Russ.)

Resolutions of the First All-Union Conference on Combating Soil Erosion in the USSR (March 4–7, 1936, Moscow). In: Bor’ba s Eroziyey Pochv v SSSR. Moscow–Leningrad: Izd-vo Akademii Nauk SSSR, 1938. P. 13–22. (In Russ.)

Shabaev A.I. Soil- and Water-Protective Reclamation and Resource Saving in Adaptive-Landscape Agriculture // Zemledelie. 2009. No. 1. P. 6–10. (In Russ.)

Shvebs G.I. Formation of Water Erosion, Sediment Runoff and Their Assessment. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 184 p. (In Russ.)

Sil’verstov S.I. Relief and Agriculture. Moscow: Sel’khozgiz, 1955. 288 p. (In Russ.)

Surmach G.P. Relief Formation, Forest-Steppe Development, Modern Erosion and Anti-Erosion Measures. Volgograd, 1992. 175 p. (In Russ.)

Surmach G.P. Water Erosion and Its Control. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 254 p. (In Russ.)

Surmach G.P. Ways of Combating Soil Erosion in the USSR. In: Itogi Raboty Instituta, Opytnykh Stantsiy i Punktov (VNIALMI). Volgograd, 1961. Vol. 1. Iss. 35. P. 45–66. (In Russ.)

Trofimets L.N., Panidi E.A., Kochurov B.I., Chaadaeva N.N., Tyapkina A.P., Saraeva A.M., Tarasov A.V., Barkalov A.O., Petelko A.I. Quantitative Assessment of Soil Erosion Losses on Different Parts of a Ploughed Slope (Upper Oka Basin). InterCarto. InterGIS. 2023. Vol. 29. Pt. 1. P. 361–377.

DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-361-377. (In Russ.)

Zaslavsky M.N. Erosion Science. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 320 p. (In Russ.)

Zdorovtsov I.P. Influence of Soil- and Water-Protective Farming on Erosion–Hydrological Processes and Agro-Landscape Productivity in the Central Black Earth Region // Izvestiya Kurskoy Gosudarstvennoy Sel’skokhozyaystvennoy Akademii. 2012. No. 7. P. 53–54. (In Russ.)

Zyuz N.S. All-Russian Research Institute of Agroforestry Reclamation (VNIALMI): A Brief History. Volgograd: VNIALMI, 2005. 116 p. (In Russ.)

## ABOUT THE AUTHORS

Anatoly Timofeevich Barabanov, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher and Head of the Soil Erosion Protection Laboratory at the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd.

Valery Ivanovich Panov, Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher at the Volga AGLOS branch of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Novoberezhovskiy settlement, Samara Region.

Anastasia Vitalievna Vypova, Director of the Novosil’skaya Zonal Agroforestral Experimental Station, Branch of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Mtsensk, Oryol region.

Anastasia Vladimirovna Kulik, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Soil Erosion Protection Laboratory of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd.

Oleg Andreevich Gordienko, Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Laboratory for Soil Erosion Protection at the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd.

Anna Dmitrievna Mitrofanova, Laboratory researcher at the Soil Erosion Protection Laboratory of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd.

Stanislav Viktorovich Petrov, Laboratory researcher at the Soil Erosion Protection Laboratory of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd.

УДК 551.8, 556.535, 556.537

## МОРФОЛОГИЯ РУСЕЛ И ВОДНЫЙ РЕЖИМ БОЛЬШИХ РЕК РАВНИН СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ 14–18 ТЫСЯЧ ЛЕТ НАЗАД

А.Ю. Сидорчук<sup>1\*</sup>, О.К. Борисова<sup>2</sup>, А.В. Панин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет

<sup>2</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

\**fluvial05@gmail.com*

Поступила в редакцию 25.10.2025

После доработки 17.12.2025

Принята к публикации 18.12.2025

**Аннотация.** В конце плейстоцена — первой половине позднеледниковья, примерно 14–18 тыс. лет назад, русла рек равнин Северной Евразии были до 10–15 раз больше русел современных рек в тех же бассейнах. Фрагменты этих больших меандрирующих палеорусел широко распространены в поймах рек и на низких террасах. Гидрологический режим этих рек представляет большой интерес с точки зрения палеоклиматологии. Морфометрические характеристики больших палеорусел — ширина палеорула, длина волны меандра — измерены на топографических картах и космических изображениях. Построены морфометрические связи ширины современных русел со среднемаксимальными расходами воды. Эти связи использованы для реконструкции максимальных расходов во время половодья для рек бассейнов Днепра, Дона, Волги и рек Западной Сибири. Суточный слой стока на максимуме половодья, который соответствует максимальному слою суточного таяния снега в период снеготаяния, приведен к единичным речным бассейнам площадью <math><1000\text{ км}^2</math>. Среднее значение для южного мегасклона Восточно-Европейской равнины составило 51 мм/сутки, что в 6 раз больше современного значения, в том числе 50.6 мм/сутки для бассейна р. Волги (в 6 раз), 50.7 мм/сутки (в 7 раз) для бассейна р. Дон и 48 мм/сутки (в 10 раз больше современного) для бассейна р. Днепр. Для рек севера Западно-Сибирской низменности средний максимальный слой суточного стока составлял 64 мм (в 2.5 раза больше современного) и для бассейна р. Оби 54 мм (в 8 раз больше современного). Для пересчета этих величин максимального стока в среднегодовые применена палеогидрологическая аналогия. На основании палеофлористического метода и по данным математического моделирования климата определялись современные территории — аналоги для климатических условий позднего плейстоцена — позднеледниковья. Результаты расчетов показали, что на южном мегасклоне Восточно-Европейской равнины и на Западно-Сибирской низменности на площади 5.52 млн км<sup>2</sup> средние запасы воды в снеге перед началом снеготаяния составляли 309–390 мм, а объем стока за половодье с этой территории, принимаемый близким к годовому объему стока, — 1706–2150 км<sup>3</sup>, что в 2.1–2.7 раза больше современного. Полученные результаты противоречат устоявшимся представлениям, основанным на ксерофильном облике растительности, о том, что перигляциальный климат на равнинах Северной Евразии в целом был сухим. Результаты палеогидрологических реконструкций показали, что в условиях перигляциального климата существовала резкая сезонность внутригодового распределения осадков: атмосферные осадки в виде снега поступали на поверхность речных водосборов во время продолжительной зимы, весеннее снеготаяние было непродолжительным и интенсивным, половодье — коротким с высоким максимумом, а летом осадков было мало, и сток вод межени из толщи вечномерзлых грунтов был незначительным, что и приводило к ксерофитизации растительности.

**Ключевые слова:** большие меандрирующие реки; поздний плейстоцен; позднеледниковье; морфометрические связи; палеогеографическая аналогия; модели циркуляции атмосферы и океана; максимальный суточный слой стока; среднегодовой сток

DOI: <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-4-4-58-98>

## ВВЕДЕНИЕ

Гидрологические события прошлого оставляют следы в русловом рельефе и аллювиальных отложениях древних рек. Расшифровка этих следов дает информацию для понимания гидрологических процессов и климата прошлого, их отличий от современных. Одним из наиболее ярких феноменов такого рода являются палеорула больших размеров, которые свидетельствуют о значительной водоносности древних рек.

В.В. Докучаев (1878), изучая происхождение речных долин Европейской России, привел примеры отношения ширины пойм рек бассейна Днепра к ширине их русел (до 375 для малых рек), совершенно чрезмерного для прохождения вод половодья. Докучаев объяснял это явление наличием в речных долинах реликтовых цепочек озерных котловин. Н.И. Маккавеев (1955) возражал против универсальности гипотезы Докучаева, объясняя расширение днищ речных долин воздействием речных же факторов — блужданием русел рек по днищу. В середине XX в. после работ Дж. Дьюри (Dury, 1954, 1964, 1965), И.А. Волкова (Волков, 1960, 1963), С.А. Шамма (Schumm, 1965, 1968) и Н.И. Маккавеева с соавт. (Маккавеев и др., 1969) стало ясно, что несоответствие ширины пойм и низких террас ширине русел (*underfit channels*) относится только к современным руслам. На поймах и низких террасах рек этими исследователями были обнаружены следы древних меандрирующих русел в виде вееров блуждания и/или староречий с размерами ширины русел и шага излучин, превышающими соответствующие морфометрические характеристики современных русел более чем в 10 раз. Именно этим палеорулам соответствует ширина большинства речных пойм, унаследованных от времени активности больших палеорусел (Panin et al., 1999; Сидорчук, 2014). Ширина пояса меандрирования больших рек в целом близка к ширине современных пойм, что позволяет говорить об их формировании именно большими древними реками.

Выяснилось, что это явление хорошо выражено в северном полушарии от зоны тундры до сухих степей и имеет циркумполярное распространение (Sidorchuk, 2003). Большие палеорула описаны на Западно-Сибирской низменности (ЗСН) (Волков, 1963), на Восточно-Европейской равнине (ВЕР) (Панин и др., 1992; Сидорчук и др., 2000), в Западной Европе (Kozarski and Rotnicki, 1977; Starkel, 1995; Starkel et al., 1996; Borsy, Felegyhazi, 1983; Howard et al., 2004; Gábris, Nádor, 2007;

Vandenberghе, Sidorchuk, 2019) и в Северной Америке (Dury, 1965), а также в южном полушарии на равнинах Австралии (Page et al., 1996).

Наибольшее количество хорошо сохранившихся фрагментов больших палеорусел обнаруживается во внеледниковой области на ВЕР и ЗСН. Так, Н.И. Маккавеев с коллегами (1969) описали большие палеорула в бассейне р. Орели (приток Днепра). И.А. Волков (1960) обнаружил в бассейнах Ишима и Нуры ясные следы древних больших рек, ширина которых намного превышала ширину современных русел рек в тех же бассейнах. В последующих публикациях И.А. Волков (1963) показал, что это явление характерно для всего юга ЗСН, и предположил, что большие палеорула являются свидетельствами эпох повышенной увлажненности и больших расходов воды в этих реках. Полученные датировки (Зыкина и др., 1981) показали, что большие реки были активны не менее 15 тысяч лет назад (тыс. л. н.), в период начала деградации последнего материкового оледенения, но все еще широкого распространения вечной мерзлоты. Их формирование было обусловлено специфическими климатическими условиями в конце последней ледниковой эпохи и соответствующим гидрологическим режимом.

Значительная информация, накопленная в продолжение всех этих классических работ, позволяет поставить целью настоящей статьи реконструкцию максимального и среднегодового стока воды на южном мегасклоне ВЕР (в бассейнах Днепра, Дона и Волги), в бассейнах Оби и рек севера ЗСН в период формирования больших меандрирующих рек. Для этого необходимо решить следующие задачи: 1) обобщить весь накопленный материал по распространению и морфометрии больших меандрирующих палеорек на этой территории; 2) описать методологию восстановления гидрологического режима этих рек, в том числе нового подхода к способу расчета среднегодового стока палеорек, основанного на использовании данных моделирования температуры воздуха для периода деградации оледенения с помощью моделей глобальной циркуляции атмосферы и океана и моделирования стока в период снеготаяния с помощью гидрологической модели; 3) рассмотреть результаты такой реконструкции и дать оценку степени вариации полученных палеогидрологических характеристик; 4) обсудить соответствие этих характеристик современным воззрениям на климат позднего плейстоцена и позднеледниковья.

## МАТЕРИАЛЫ

### *Общие сведения о территории исследований*

Территория исследований занимает южный мегасклон ВЕР и всю ЗСН — т. е. основные равнинные территории Северной Евразии, на которых выявлены следы больших древних меандрирующих палеорусел, достаточно изученных для палеогидрологических реконструкций.

Южный мегасклон ВЕР занимает территорию от восточного подножия Карпатских гор (Приднепровская возвышенность) до западного подножия Уральских гор и относится к бассейнам Черного и Каспийского морей. Истоки всех основных рек расположены на главном водоразделе, включающем (с запада на восток) цепочку возвышенностей с высотами более 180 м над уровнем моря (н. у. м.) — Волковысскую, Минскую, Витебско-Невельскую, Валдайскую, Вепсовскую, Андомскую, Грязовецко-Даниловскую возвышенности и Северные Увалы (Былинский, Востоков, 1976). Эту территорию дренируют крупнейшие европейские реки: Днепр с площадью бассейна 504 000 км<sup>2</sup>, Дон с площадью 422 000 км<sup>2</sup> и Волга с площадью 1 360 000 км<sup>2</sup>. Среднерусская возвышенность разделяет бассейны Днепра и верхней Волги—Дона, а Приволжская возвышенность — бассейны Дона и Волги. Средняя температура воздуха в июле повышается с севера на юг с 17 до 24 °С, а в январе — с северо-востока на юго-запад равнины от –18 до –6 °С. Годовое количество осадков уменьшается от 600–750 мм вблизи главного водораздела ВЕР до <250 мм на ее юго-восточной окраине. Северную часть этой территории занимает зона тайги, южнее расположены зона широколиственных лесов, лесостепь и степь.

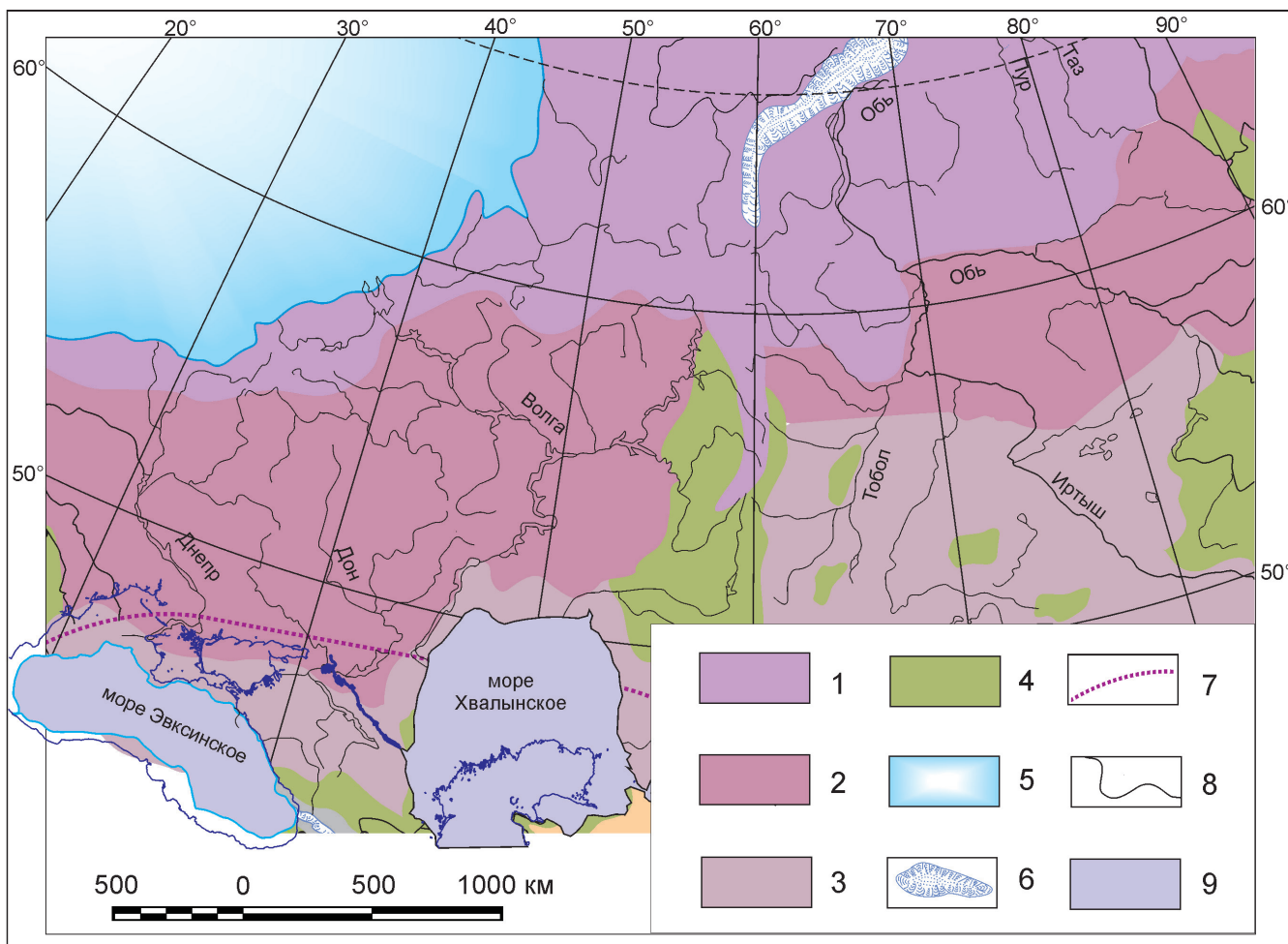
ЗСН площадью более 3.5 млн км<sup>2</sup> граничит на западе с Уральскими горами, на востоке — со Среднесибирским плоскогорьем и Енисейским краем. На севере ЗСН ограничена побережьем Карского моря, на юге с ней соседствуют Казахский мелкосопочник, Алтай и Саяны. Низменность разделена на две части невысокой субшироко-вытянутой возвышенностью — Сибирскими Увалами, достигающими отметок 120–240 м н. у. м. К югу от Сибирских Увалов расположены внутренние котловины с отметками менее 100 м н. у. м., а к северу, к побережью Карского моря, спускаются приморские низменности. ЗСН дренируется р. Обью с притоками (площадь водосбора 2 972 000 км<sup>2</sup>), а также р. Таз (площадь водосбора 150 000 км<sup>2</sup>), Пур (площадь водосбора 112 000 км<sup>2</sup>) и другими, впадающими в Обскую губу. Средняя температура воздуха в июле увеличивается с севера на юг с 5 до 20 °С, в январе — с северо-востока на юго-запад

равнины от –26 до –18 °С. Годовое количество осадков составляет около 500–600 мм на Сибирских Увалах, уменьшаясь до 300 мм как к северу, так и к югу. Северную часть равнины занимают тундра и редколесье со сплошной вечной мерзлотой, среднюю — бореальные леса (тайга), частично с прерывистой мерзлотой, южную часть равнины занимают лесостепь и степь.

Палеоландшафты равнин Северной Евразии (рис. 1) восстановлены по данным спорово-пыльцевого анализа для периода, близкого к максимуму последнего материкового оледенения (Гричук, 2002). Скандинавский ледниковый щит заходил на южный мегасклон ВЕР, в верховья Днепра и Волги, во время максимума оледенения, и в начале дегляциации в эти реки поступали воды тающего ледника. По наиболее вероятным оценкам, сток талых вод в верховьях Днепра составлял от 68 км<sup>3</sup>/год на начальных стадиях дегляциации и 26 км<sup>3</sup>/год перед тем, как южная граница материковых льдов сместилась к северу от главного водораздела равнины (Sidorchuk et al., 2011), а в верховьях Волги — 15 км<sup>3</sup>/год (Панин и др., 2021). Однако 18 тыс. л. н. край ледника уже располагался севернее главного водораздела, и сток талых вод направлялся на запад и северо-восток. Кроме того, талые ледниковые воды могли производить изменения морфологии русел только главных рек (Березины, Днепра и Волги), но не их притоков. В бассейн Дона воды с тающего ледника вообще не могли попасть.

В позднем пленигляциале северные части бассейнов Днепра и Волги занимали перигляциально-тундровые сообщества с холодоустойчивыми ксерофитными группировками; южнее вплоть до верховьев р. Дон реконструирована перигляциально-степная растительность с участками березовых, сосновых и лиственных редколесий, с тундровыми и галофитными сообществами; еще южнее — разнотравно-злаковая степь. На этих территориях была распространена вечная мерзлота, южная граница которой с температурой грунтов ниже –3 °С проходила примерно по параллели 50° с. ш. В низовьях всех рек южного макросклона ВЕР и на осушенном шельфе Азовского и Черного морей вне области вечной мерзлоты существовали злаковые, злаково-разнотравные и полярные степи.

На ЗСН в период дегляциации по главному руслу Оби, вероятно, проходили так называемые суперпаводки, возникавшие за счет вод тающих ледников Алтая (Зольников и др., 2024), однако, как и на ВЕР, эти паводки могли производить изменения в морфологии только основного русла Оби, но не ее притоков и не рек севера равнины.



**Рис. 1.** Основные типы растительности на равнинах Северной Евразии в позднем плейнигляциале. 1 – перигляциальная тундра, на юге – в сочетании с участками сосновых, березовых, лиственничных и еловых редколесий; 2 – перигляциальная лесостепь; 3 – разнотравно-злаковая и полынная степь; 4 – бореальные леса; 5 – Скандинавский ледниковый щит около 20 тыс. л. н.; 6 – горные ледники; 7 – южная граница сплошной вечной мерзлоты; 8 – речная сеть; 9 – моря. Адаптировано из (Гричук, 2002), упрощено, с дополнениями

**Fig. 1.** The main vegetation types on the plains of Northern Eurasia in the Late Pleniglacial. 1 – periglacial tundra, in the south with patches of pine, birch, larch and spruce woodlands; 2 – periglacial forest steppe; 3 – herb-grass and sedgebrush steppe; 4 – boreal forests; 5 – Scandinavian ice sheet at about 20 ka BP; 6 – mountain glaciers; 7 – southern boundary of continuous permafrost; 8 – river net; 9 – seas. Adapted from (Grichuk, 2002), simplified, with additions

В позднем плейнигляциале на осушенном шельфе и на севере полуострова Ямал были распространены арктические пустыни в сочетании с группировками галофитов и травяно-моховые тундры (Гричук, 2002). В низовьях Оби, в бассейнах Надыма, Пура и Таза реконструированы мохово-кустарничковые тундры с участием березового и елового редколесья. Южнее, до устья Иртыша и верховьев Пура, преобладало березовое и еловое редколесье. В низовьях Иртыша и его притоков были распространены перигляциальные луговые степи с еловыми и березовыми лесами с участием тундровых ассоциаций, а в бассейне средней Оби с притоками – в соче-

тании с кедрово-сосновыми и березовыми лесами (Гричук, 2002). На юге и юго-западе ЗСН, вплоть до Казахского мелкосопочника и предгорий Алтая, были распространены полынно-разнотравные, полынно-злаковые и полынно-солянковые степи. По верхней Оби и ее притокам существовали участки остепненных березовых и сосновых лесов. Южная граница вечной мерзлоты с температурой грунтов ниже  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  проходила примерно по параллели  $50^{\circ}$  с. ш., т. е. грунты на всей территории ЗСН находились в мерзлом состоянии.

Эту обширную территорию дренировали большие многоводные реки.

### Морфометрия больших палеорусел

Фрагменты больших меандрирующих палеорусел выявлялись просмотром русел, пойм и низких террас рек на крупномасштабных топографических картах, аэрофотоснимках и особенно на космических изображениях по длине сетей постоянных (речных) водотоков. Главным критерием были большие относительные размеры палеорусел: их ширина и шаг излучин в среднем на участке речного русла должны были быть не менее чем в 2–3 раза больше этих же морфометрических характеристик современного русла.

Палеорусла или представляют собой большие староречья на низких террасах и поймах (рис. 2А), или они наследуются современными руслами (рис. 2Б), или представлены хорошо выраженными гривами на пойме (рис. 2В). Основные типы соотношения древних и современных русел, выделенные по их морфологии, приведены в табл. 1. В первую очередь исследовались древние староречья, обычно один-два сопряженных изгиба, реже несколько (до 10). В староречьях измерялись шаг излучин и ширина палеорусла. Исследование больших систем

**Таблица 1.** Основные типы соотношения древних и современных русел

**Table 1.** Main types of relationship between ancient and modern channels

Индекс	Тип соотношения
A	Современное русло полностью наследует палеорусло
B1	Унаследованное русло с современными меандрами (пологими)
B2	Унаследованное русло с современными меандрами (крутыми)
C	Унаследованное русло с макроизлучинами палеорусла на пойме
D	Унаследованное русло с современными меандрами с широкой древней поймой с макроизлучинами
E1	Река с современными меандрами с широкой древней поймой с макроизлучинами
E2	Река с пойменной многорукавностью с широкой древней поймой с макроизлучинами
F	Река с современными меандрами или пойменная многорукавность на широкой пойме с гривами большого древнего русла

древних изогнутых грив на пойме дает меньшие возможности для морфометрического анализа: здесь мог быть измерен только шаг излучин палеорусла, при наличии отчетливо идентифицируемых областей смены знака кривизны грив.

Для хорошо сохранившихся фрагментов больших меандрирующих палеорусел измерялись морфометрические характеристики – ширина русла и шаг излучин. Точность таких измерений была оценена в работе (Сидорчук и др., 2008). Если палеорусло заполнено наносами по самые бровки, то измеряемая ширина близка к ширине русла при уровне руслозаполнения. Это довольно частый, но не единственный вариант, поэтому для уменьшения ошибки измерения ширина русла определяется на относительно прямолинейных участках или на излучинах в областях смены кривизны. На таких участках крутизна обоих пойменных яров велика, и ширина русла мало меняется с изменением уровня заполнения. Тем не менее при дешифрировании границ палеорусла ошибка достигает 10% (Сидорчук и др., 2008).

Значительная ошибка возникает из-за малого количества измерений. Даже на бесприточном участке ширина русла изменяется по длине реки. Так, для меандрирующего русла р. Яны на малоприточном участке от слияния рек Сартанг и Дулгаллах до устья р. Адычи (873.5–627 км от устья) коэффициент вариации ширины русла в бровках на перегибах излучин по 97 измерениям (рис. 3) составляет около 20% ( $C_v = 0.205$ ).

Относительная ошибка оценки средней ширины русла составит

$$E_{wm} = C_v / \sqrt{N_w}. \quad (1)$$

Обычно ширину можно измерить на 1–5 участках палеорусла ( $N_w = 1–5$ ), и ошибка среднего составит 10–20%.

Шаг излучин  $\lambda$  палеорусла (расстояние по прямой между соседними точками смены знака кривизны оси русла) измеряется с большей точностью, чем ширина, так как точки смены знака кривизны русла определяются более уверенно, чем бровки русла. Кроме того, шаг излучин измеряется по рисунку грив на пойме, даже когда ширину палеорусла определить невозможно. Однако величина ошибки среднего для шага излучин больше, чем для ширины, из-за большей вариабельности шага излучин даже на бесприточном участке. Так, на уже рассмотренном отрезке русла р. Яны для 95 излучин коэффициент вариации  $C_v$  составил 0.65. Кроме того, функция распределения вероятностей длины шага излучин резко асимметричная, что делает невозможным



**Рис. 2.** Примеры крупных меандрирующих палеорусел:

А – палеорусла на пойме – р. Орель (бассейн р. Днепр; изображение этого палеорусла было опубликовано в (Маккавеев и др., 1969));

Б – современное русло наследует палеомеандры – р. Битюг (бассейн р. Дон);

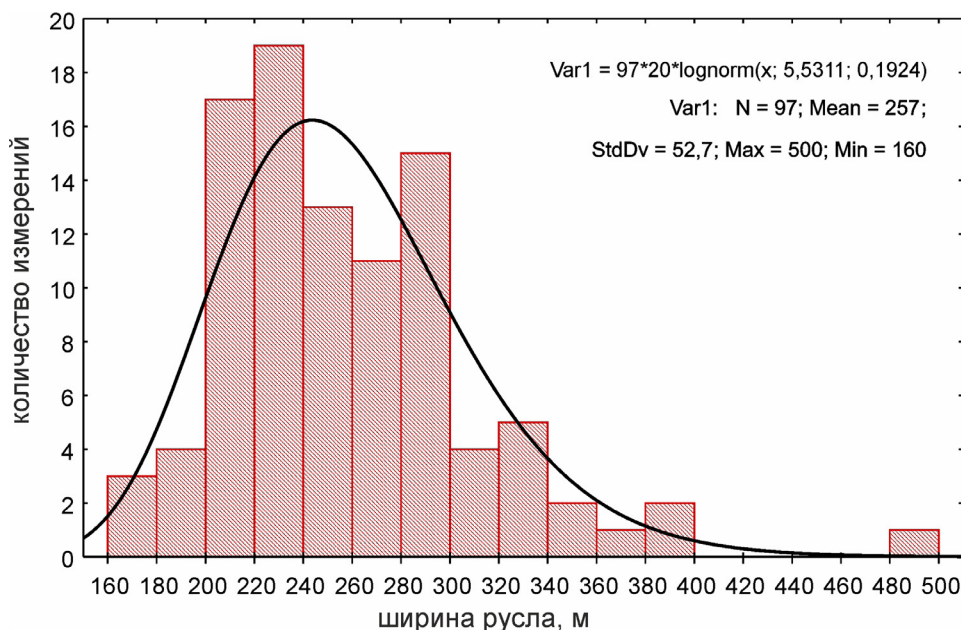
В – большие гривы на пойме – р. Иж (бассейн р. Волги)

**Fig. 2.** Examples of large meandering paleochannels:

A – paleochannels on the floodplain – the Orel River (Dnieper River basin, the drawing of this paleochannel was published in (Makkaveev et al., 1969));

Б – the modern channel inherits paleomeanders – the Bitug River (Don River basin);

В – large natural levees on the floodplain – the Izh River (Volga River basin)



**Рис. 3.** Гистограмма ширины меандрирующего русла р. Яны на участке от узла слияния рек Сартанг и Дулгаллах до устья р. Адыча

**Fig. 3.** Histogram of the width of the meandering channel of the Yana River in the section from the confluence of the Sartang and Dulgallah rivers to the mouth of the Adycha River

применение в прямом виде формулы (1) для оценки ошибки среднего.

Шаг излучин определяется шириной русла (Leopold and Wolman, 1960):

$$\lambda = k_{\lambda} W, \quad (2)$$

что дает возможность при отсутствии или малой достоверности измерений ширины палеорусел рассчитать эффективную среднюю ширину палеорусла в бровках по формуле:

$$W_m^* = \frac{W_m + \lambda_m / k_{\lambda}}{2}. \quad (3)$$

Существует большое количество фрагментов палеорусел разного вида, а также большие цирки у тылового шва поймы, которые свидетельствуют о существовании большой реки, но не дают возможности проводить морфометрический анализ. Так, В.Ю. Украинцев (2023) выделил в бассейне р. Волги более 1700 остатков больших палеорусел, но морфометрический анализ удалось выполнить только для 123 хорошо сохранившихся фрагментов. В бассейне р. Дон таких подходящих для анализа фрагментов выявлено 129, в бассейне Днепра – 210, в бассейне Оби – 35, в других бассейнах – 30.

Отношение шага излучин  $\lambda$  к ширине русла при уровне руслонаполнения  $W$  (см. формулу (2))  $k_{\lambda}$  является важной морфометрической характеристикой речных излучин. Например, величина  $k_{\lambda} > 20$  может служить признаком негидравлического

происхождения такой излучины речного русла и невозможности использования ее морфометрии для палеогидрологических построений.

Для современных рек среднее по бассейнам значение  $k_{\lambda}$  варьирует в диапазоне 5.0–6.8 (табл. 2); распределение величин, полученных для отдельных участков рек, асимметричное, хорошо аппроксимируется гамма-распределением (рис. 4а). Для палеоизлучин среднее по бассейнам  $k_{\lambda}$  варьирует в диапазоне 5.7–8.0, распределение величин также близкое к гамма-распределению (рис. 4б). Различия средних и квадратичных отклонений функций распределения незначительные. Отсюда следует вывод, что морфология излучин палеорусел в бассейнах Днепра, Дона, Волги и рек ЗСН не отличается от морфологии современных излучин и может быть использована для палеогидрологических реконструкций.

Палеогидрологические реконструкции проведены в этой работе на основе морфометрии однорукавных меандрирующих палеорек, так как именно для таких рек наиболее просто применить метод актуализма и использовать данные о современных реках для восстановления гидрологических характеристик древних рек. Однако наиболее крупные реки обычно делятся на рукава, хотя есть и исключения, такие как Миссисипи и Енисей выше их дельт. Имеются морфометрические связи, из которых следует, что при увеличении расхода

**Таблица 2.** Среднее по бассейнам рек отношение шага излучин к ширине русла  $k_\lambda$  для современных и древних меандрирующих рек

**Table 2.** Average for river basins ratio of meander half-wavelength to the width of the channel  $k_\lambda$  for modern and ancient meandering rivers

Река	$k_\lambda$ совр	$\sigma_{k\lambda}$ совр	$k_\lambda$ древн	$\sigma_{k\lambda}$ древн
Днепр	6.8	1.8	6.4	1.95
Дон	7.5	3.0	8.0	2.8
Волга	5.0	1.75	6.3	1.0
Реки Западной Сибири	5.8	1.4	5.7	1.7

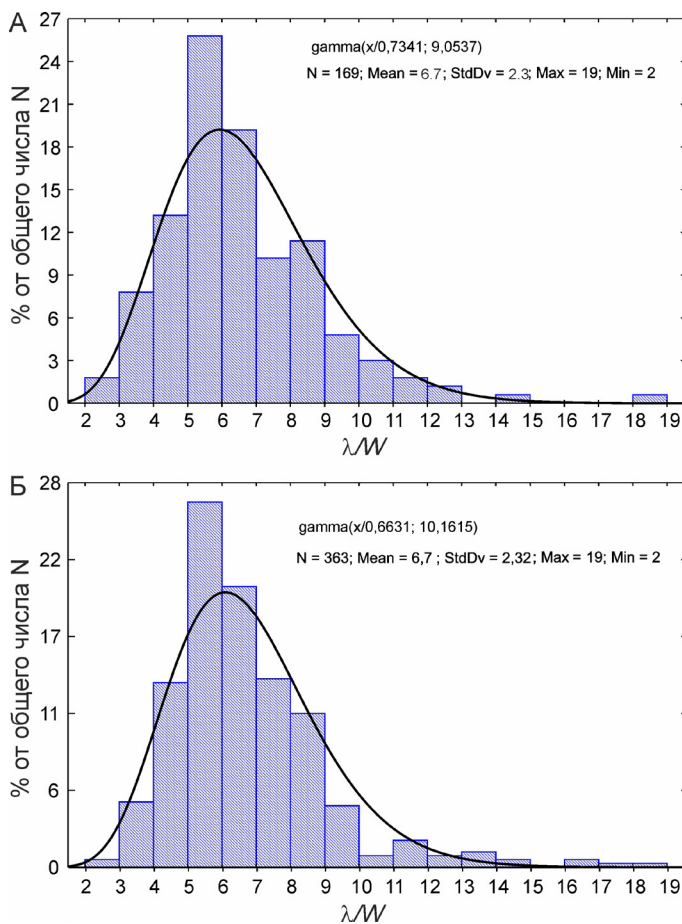
воды возрастает вероятность деления рек на рукава (Leopold, Wolman, 1960; Ромашин, 1968). Так что не исключено, что такие реки, как, например, Днепр в низовьях, в прошлом разделялись на рукава. Но морфометрия рек, разветвленных на рукава, намного сложнее, чем однорукавных рек (Чалов, 1980), и палеогидрологические построения для таких рек — дело будущих исследований.

**Распространение и типы палеорусел на южном макросклоне Восточно-Европейской равнины и на Западно-Сибирской низменности**

**Бассейн Волги.** В период формирования больших палеорусел уровень Каспийского моря стоял на высоких отметках в результате Хвалынской трансгрессии. Вследствие этого низовья самой Волги были затоплены при максимальном уровне моря примерно до устья р. Самары, при минимальном — до устья Большого Иргиза. Влияние высокого уровня хвалынского Каспия прослеживается на притоках Волги: в их низовьях на протяжении 20–30 км формировались террасы из аллювиально-дельтовых отложений (Обедиентова, 1977). В то же время на притоках нижней Волги с меандрирующими или многорукавными современными руслами сохранились наиболее хорошо морфологически выраженные фрагменты больших меандрирующих палеорусел на широких современных поймах (типы E1 и E2 по табл. 1). Наблюдаются и отдельные участки с унаследованными руслами, вплоть до типа А.

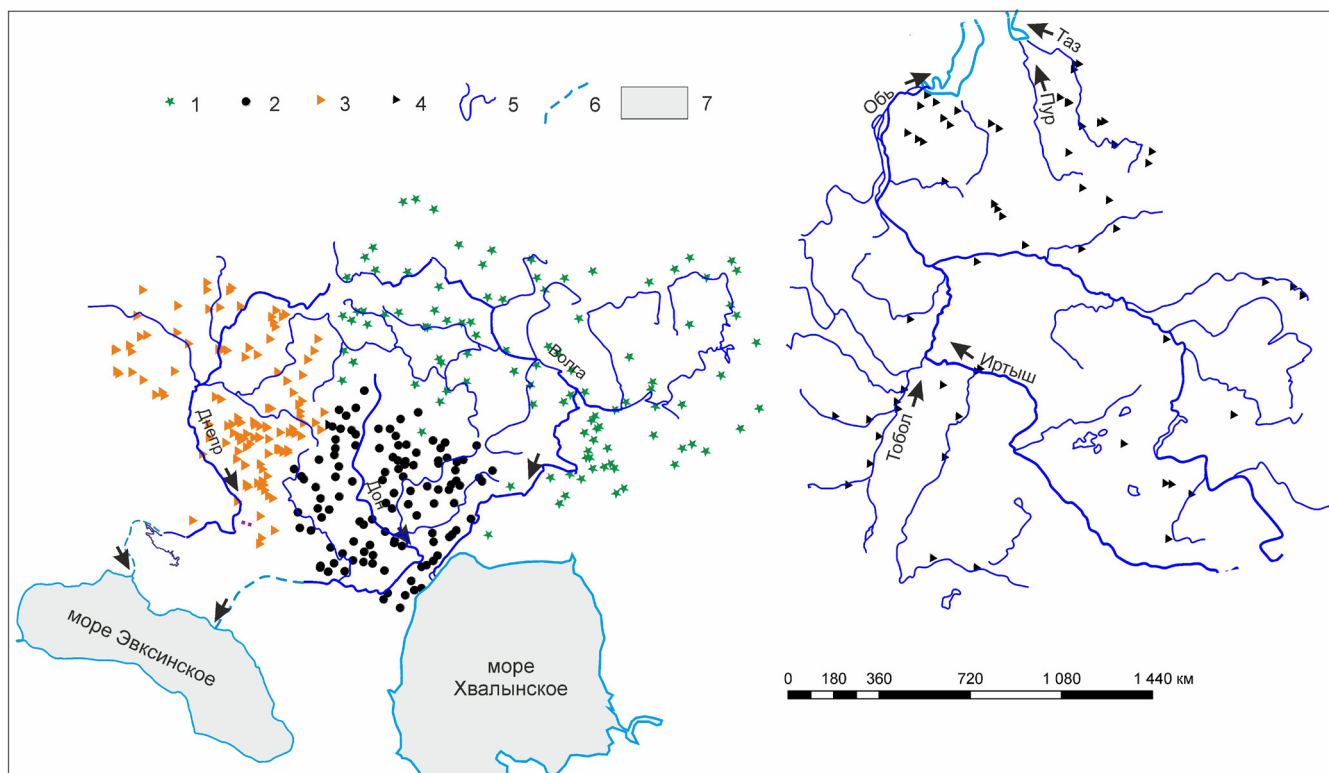
Выше по течению Волги, вне зоны влияния колебаний уровня Каспия, наблюдается чередование палеорусел на широкой пойме (типы С и E1) и различных типов наследования палеорусел современными реками, обычно меандрирующими (типы А, B1 и B2). Как уже упоминалось, В.Ю. Украинцев (2023) выделил в бассейне Волги более 1700 участков с макроизлучинами разных типов (включая меандровые цирки тылового шва поймы), но для морфометрического анализа были отобраны только немногим более 120 участков (рис. 5).

На р. Москве у с. Остров проведено бурение по поперечным профилям на перекате и плесе большого староречья. Здесь выполнено радиоуглеродное датирование аллювия, построена спорово-пыльцевая диаграмма, получены палеофлоры разного возраста для периода от конца плейстоцена до позднего дриаса, по формулам гидравлики проведена оценка руслонаполняющего расхода воды (Sidorchuk et al., 2009). Аналогичные работы проведены на р. Протве в палеорусле на первой террасе в черте г. Боровска



**Рис. 4.** Гистограмма отношения шага излучин  $\lambda$  к ширине русла  $W$ : А — для современных и Б — для древних рек бассейнов южного макросклона ВЕР и ЗСН

**Fig. 4.** Histogram of the ratio of meander half-wavelength and the width of the channel for А — modern and Б — ancient rivers of the basins on the southern megaslope of the East European Plain and West Siberian Lowland



**Рис. 5.** Распределение хорошо сохранившихся фрагментов крупных извилистых палеорусел на равнинах Северной Евразии: 1 – в бассейне Волги; 2 – в бассейне Дона; 3 – в бассейне Днепра; 4 – в бассейнах рек ЗСН; 5 – основные реки; 6 – продолжения рек на осушенном шельфе; 7 – морские бассейны в позднем плейстоцене

**Fig. 5.** Distribution of well-preserved fragments of large meandering paleochannels on the plains of Northern Eurasia: 1 – in the Volga basin; 2 – in the Don basin; 3 – in the Dnieper basin; 4 – in the river basins of West Siberian Lowland; 5 – main rivers; 6 – continuations of rivers on the exposed shelf; 7 – marine basins in the Late Pleistocene

(Sidorchuk et al., 2009). В.Ю. Украинцев с соавт. (2024) проанализировали структуру аллювия в более чем 30 палеоруслах по материалам буровых скважин, частично датированным.

**Бассейн Дона.** Бассейн р. Дон представляет собой уникальный объект для палеорусловых и палеогидрологических исследований. Во-первых, в отличие от других рек ВЕР и ЗСН, реки в бассейне Дона в период формирования палеорусел были врезаны практически на всем их протяжении. Уровень Черного моря в тот период контролировался условиями стока в проливах Босфор и Дарданеллы и был не выше –64 м абс. (Сидорчук и др., 2018). Устье Дона располагалось тогда на краю шельфа, отметки дна реки составляли –40 м абс. в районе современного Керченского пролива и –15 м абс. ниже устья р. Северский Донец (Неваленный, 2000). На участке от устья р. Черная Калитва до устья р. Воронеж русло Дона было врезано на 10–12 м относительно современного уровня воды (Хруцкий и др., 1974). Эта трансформация продольного профиля р. Дон происходила во время

формирования больших меандрирующих рек, так как на пойме р. Хопер бурением вскрыты большие палеорусла в разных стадиях врезания (Панин и др., 2013). Во-вторых, обычно остатки больших палеорусел распределены вдоль рек фрагментарно и разделены большими участками отсутствия таких остатков. Палеорусла в бассейне Дона часто прослеживаются вдоль рек без больших перерывов. Вероятно, хорошая сохранность палеорусел в бассейне Дона объясняется их врезанностью.

В низовьях Дона (в основном ниже устья р. Цимлы) река широкопойменная с пойменной много рукавностью и современными излучинами (тип F в табл. 1). Палеорусла на этом участке морфологически не выражены. Буровой профиль, проходящий через долину Дона в 16 км ниже устья р. Сал, показывает мощную толщу аллювия, трактуемого как голоценовый и перекрывающего морские и аллювиальные карангатские отложения в широкой долине (Неваленный, 2000). Подошва аллювия расположена на отметках –15 м абс., что соответствует рассматриваемому врезанному руслу палео-Дона.

Вероятно, все следы врезанных палеорусел погребены под этой толщей.

На большей части бассейна Дона современные русла так или иначе унаследовали хорошо выраженные палеорусла, а пойма или практически отсутствует (типы А–В), или относительно узкая (тип С). Отношение ширины древних русел к ширине современных в основном изменяется в пределах 3–7 и только в верховьях р. Северский Донец достигает 10–12. В бассейнах рек Битюг, Хопер, в среднем течении рек Северский Донец и Медведица пойма широкая (типы D–E). Здесь возможно относительное уменьшение ширины современных русел за счет распластывания потока половодья на пойме. Этим объясняются большие значения отношения ширины древних русел к ширине современных, часто лежащие в диапазоне 7–12.

Бурением в палеоруслах и на пойме р. Хопер выявлены широкие и глубокие поперечные профили палеорусел (Панин и др., 2013; Матлахова, 2021), выполнено датирование образцов аллювия. Здесь с большой степенью вероятности имеются и палеорусла, сформированные на начальных этапах врезания реки и расположенные на более высоких отметках, и глубоко врезанные, вероятно, более поздние палеорусла с днищами на более низких отметках.

*Бассейн Днепра.* Не менее ценный объект для исследования палеорусел представляет собой бассейн Днепра (Matoshko et al., 2002). Наличие порогов в низовьях Днепра исключает влияние изменений уровня Черного моря на трансформацию продольного профиля реки на всем ее протяжении выше порогов. Эта трансформация определялась климатическими изменениями в бассейне и, возможно, новейшими тектоническими движениями. Как и в бассейне Дона, в бассейне Днепра имеется большое количество хорошо сохранившихся фрагментов больших меандрирующих палеорусел. Особенно это характерно для левобережных притоков, впадающих в Днепр на участке непосредственно выше порогов: Орели, Хорола, Псела и др. На этих реках на небольших участках поймы сохранилось большое количество (до 10–12) крупных староречий, что повышает надежность морфометрических исследований. В целом в бассейне Днепра преобладают соотношения современных и древних русел типа D и E1.

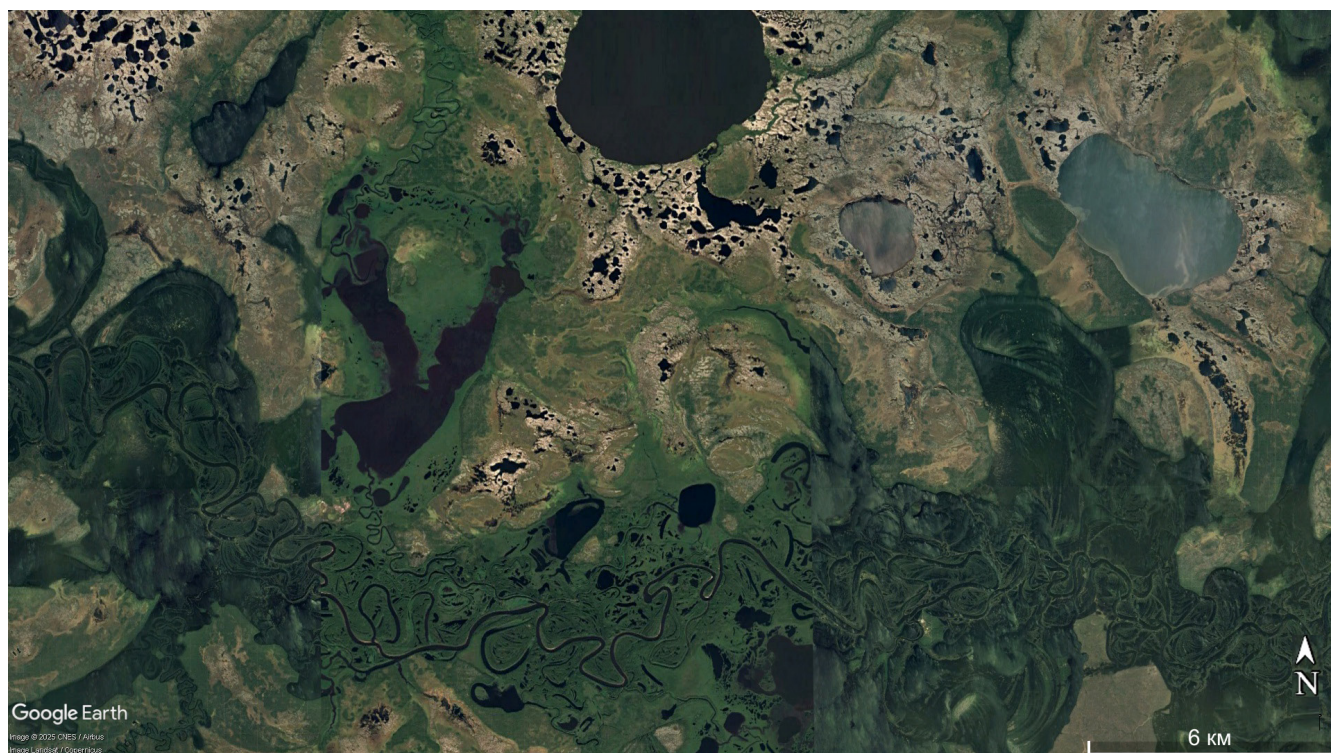
В верхней части бассейна Днепра, на реках Сейм и Свапа, проведено бурение по поперечным профилям и вскрыты широкие и глубокие поперечные сечения палеорусел (Панин и др., 2001; Borisova et al., 2006). Здесь выполнено радиоуглеродное

датирование аллювия, построена спорово-пыльцевая диаграмма, получены палеофлоры разного возраста для периода от конца пленигляциала до голоцена, по формулам гидравлики проведена оценка руслонаполняющего расхода воды.

*Бассейны рек Западно-Сибирской низменности.* Большие меандрирующие палеорусла на ЗСН распространены от тундры до сухой степи, однако их морфология сильно изменяется с севера на юг и поэтому будет характеризована более подробно. В долине р. Юрибей на Гыданском полуострове обнаружены, возможно, самые северные ( $70^{\circ}36'$  с. ш.) хорошо выраженные морфологические следы деятельности большой древней меандрирующей реки, которая, согласно (Гричук, 2002), протекала в пределах травяно-моховой тундры. На участке между устьями притоков Нгарка-Маретаяха и Маретаяха шаг излучин современной реки 1230 м, ширина русла — 150 м. Большое палеорусло с шириной 250 м на унаследованной пойме описывало излучины с шагом 2300 м. Ниже по течению, выше устья притока Ампосяха, шаг излучин современной реки увеличивается до 1420–1630 м, а ширина русла — до 220–245 м. На этом участке большое палеорусло с шириной 620–750 м описывало омеговидные излучины с шагом 3200–3800 м. В среднем размеры большого палеорусла превышали соответствующие морфометрические показатели современного русла в 2 раза.

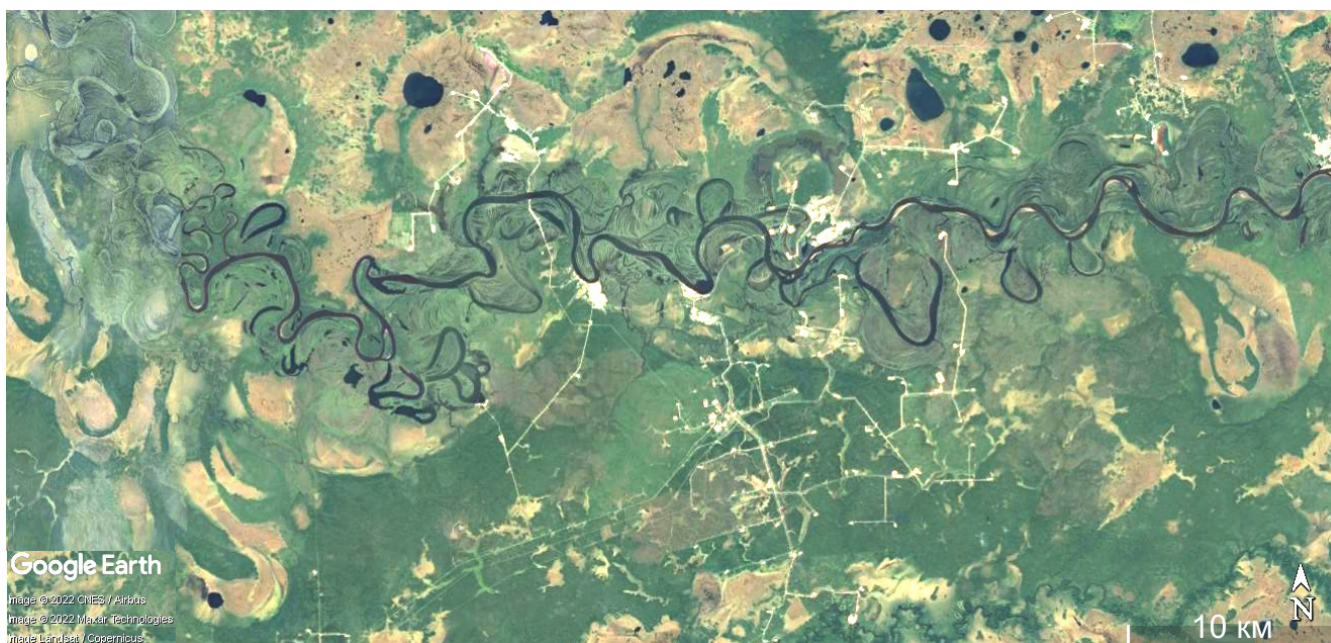
Наибольшее количество хорошо сохранившихся фрагментов палеорусел выявлено в зоне древней перигляциальной лесотундры. Это в основном были реки в бассейнах нижней Оби, Надыма, Пура и Таза с крутыми, часто омеговидными излучинами, что указывает на устойчивость поверхности пойм этих рек во время затопления в половодье. Диапазон отношения ширины древних русел к ширине современных довольно широк — от 1.7 до 5.3, со средним значением чуть более 3. Аномально на этом фоне выглядит древнее русло р. Часелька, притока р. Таз, которое было в 7–8 раз шире современного, а его излучины были больше излучин современной р. Таз (рис. 6). В настоящее время фрагменты древних русел расположены на первых террасах рек.

Более десяти участков с фрагментами больших палеорусел обнаруживаются в зоне древнего березово-елового редколесья на притоках нижней Оби и нижнего Иртыша. Например, р. Вах (рис. 7) шириной 300 м в настоящее время формирует сегментные и омеговидные меандры с шагом 2100 м. Излучины древнего русла были более крутые, с шагом 6200 м и шириной русла 1700 м. В целом морфология больших русел зоны редколесья мало



**Рис. 6.** Пример крупных меандрирующих палеорусел в бассейне р. Таз — р. Часелька

**Fig. 6.** Example of large meandering paleochannels in the Taz River basin — the Chaselka River



**Рис. 7.** Пример крупных меандрирующих палеорусел в бассейне нижней Оби — р. Вах

**Fig. 7.** Example of large meandering paleochannels in the lower Ob basin — the Vakh River

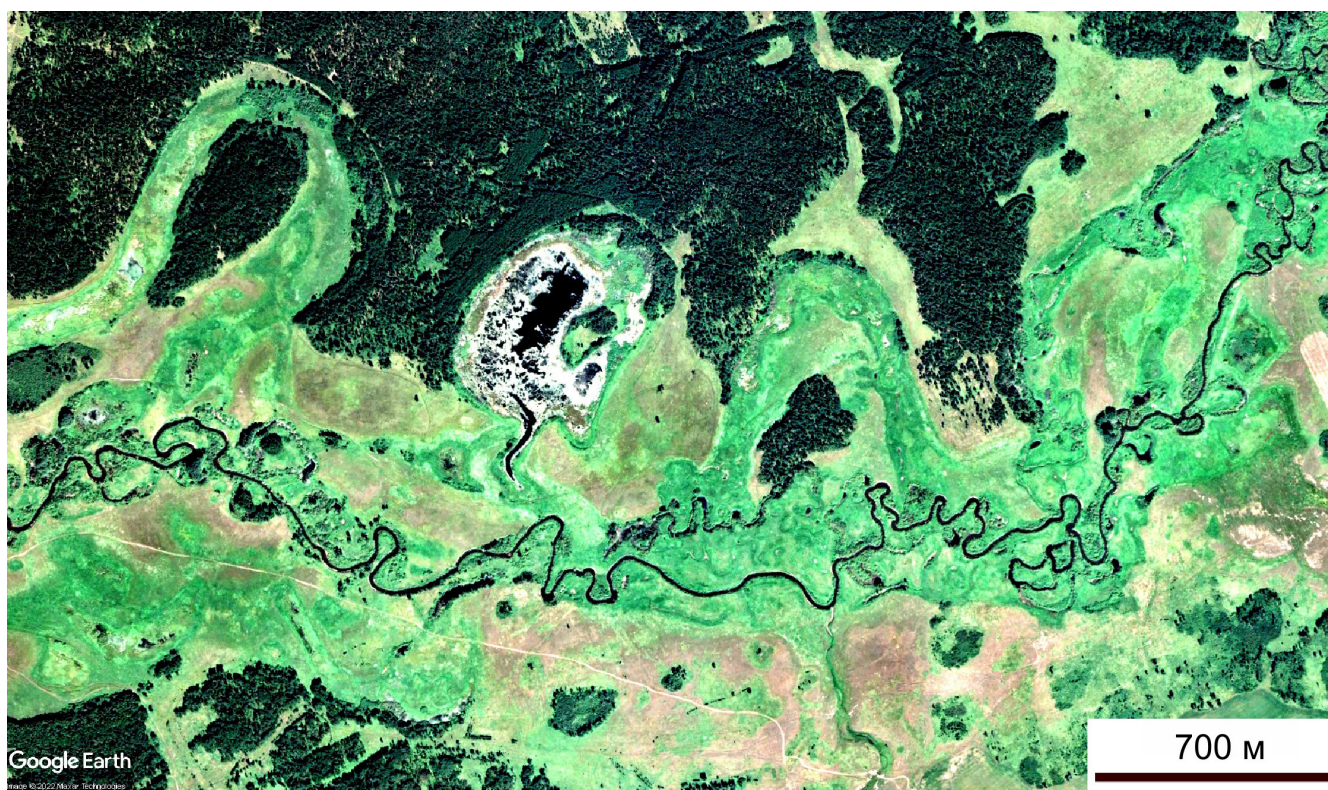


Рис. 8. Пример крупных меандрирующих палеорусел в бассейне верхней Оби — р. Кулунда

Fig. 8. Example of large meandering paleochannels in the upper Ob basin — the Kulunda River

отличается от морфологии русел более северных рек: диапазон отношения ширины древних русел к ширине современных здесь тоже велик — от 2.3 до 7, но среднее значение несколько больше — 3.5. Фрагменты древних русел также расположены на первых террасах рек.

В древней области перигляциальной лесостепи фрагменты больших палеорусел обнаружены вдоль правых притоков Оби на востоке и вдоль левых притоков Иртыша на западе. В сильно заболоченной центральной части ЗСН такие фрагменты, с большой вероятностью, также существовали (например, на первой террасе р. Васюган), но впоследствии были скрыты процессами торфонакопления. В зоне перигляциальной лесостепи продолжается увеличение отношения ширины древних русел к ширине современных по сравнению с более северными зонами: диапазон от 3 до 12, среднее значение — 5.9.

На юге и юго-западе ЗСН, в зоне древних полынно-разнотравных и полынно-злаковых степей, на первой террасе и на пойме Тобола и Ишима фрагменты больших палеорусел многочисленны и впервые обнаружены И.А. Волковым (1960, 1963). На Тоболе ниже р. Кустанай выявлено

наибольшее отношение ширины древних русел к ширине современных: 19. Здесь река меандрирует по широкой унаследованной пойме, ширина ее русла 20 м, шаг излучин 100 м. Излучины древнего русла шириной 380 м были более крутые, с шагом 1200 м. В этой же зоне, в восточной ее части на р. Кулунде отношение ширины древних русел к ширине современных равно 10–11 (рис. 8). В целом в этой области диапазон отношения ширины древних русел к ширине современных 2.8–19, его среднее значение — 8.3. Здесь хорошо выражена унаследованная пойма, на которой расположены фрагменты древних русел.

На юго-востоке Западной Сибири, в Степном Алтае, в области распространения остепненных сосновых и березовых лесов, на широких унаследованных поймах левых притоков верхней Оби — Чулыма, Чарыша, Алея — хорошо выражены староречья больших палеорусел. Так, пойма шириной 8 км в приустьевой части р. Чарыш была сформирована древней большой рекой с шириной русла 280 м и шагом излучин 1750 м. Современная река с шириной русла 160 м, шагом излучин 1100 м и поясом меандрирования шириной не более 3 км наследует лишь часть этой древней поймы.

**Возраст больших палеорусел**

Полученная к настоящему времени информация о возрасте больших палеорусел невелика по объему и довольно неоднородна для разных объектов. Поэтому в настоящей статье ограничимся перечислением опубликованных ранее радиоуглеродных дат, пересчитанных в значения калиброванного возраста с помощью калибровочной кривой Reimer et al., 2020; ниже в статье всюду приводятся калиброванные даты, за исключением особо оговоренных случаев.

Возраст больших русел палеорек ВЕР определен по данным радиоуглеродного и пылецевого анализа старичных отложений. В долине р. Хопер у г. Поворино (Панин и др., 2013) большое палеоруло отмерло более 11 тыс. л. н. Палеоизлучины на пойме р. Сейм у г. Льгова и р. Свапы у ее устья (Панин и др., 2001) были отшнурованы от основного русла около 14 тыс. л. н. В долине р. Протвы у г. Боровска отмирание большого палеорула произошло 12–13 тыс. л. н. (Панин, Сидорчук, 2006). Палеоруло р. Самары (Kremenetski et al., 1999) также было заброшено около 13 тыс. л. н. Большая излучина р. Москвы у с. Остров была отчленена от реки более 15 тыс. л. н. (Панин и др., 2005; Sidorchuk et al., 2009). Для бассейна Волги получены датировки в пределах 14–18 тыс. л. н. еще для 19 рек (Украинцев и др., 2024). Все эти палеореки характеризовались хорошо развитыми меандрами, часто омегавидными. Их формирование продолжалось не менее 1–2 тыс. лет. Поэтому образование больших рек ВЕР можно отнести к периоду 14–18 тыс. л. н., т. е. к концу пленигляциала и позднеледниковью.

Имеющиеся данные о периоде активной деятельности больших рек в Западной Сибири были рассмотрены в (Сидорчук и др., 2008) с опорой на работы И.А. Волкова с коллегами. К сожалению, новых данных за прошедшее время не прибавилось, поэтому мы повторяем ранее сделанные выводы, с приведением радиоуглеродного возраста к календарному. Время завершения периода активности больших рек на ЗСН устанавливается по серии датировок для I террасы р. Бердь около Новосибирска (Зыкина и др., 1983). Наиболее ранняя 14С дата —  $12\,820 \pm 500$  (СОАН-11) — позволяет оценить время отчленения большой палеоизлучины Берди: ранее 15.3 тыс. л. н. Исходя из этого, можно предположить, что на ЗСН и на ВЕР большие реки были активны более или менее одновременно (в геологическом смысле), в период с 14 до 18 тыс. л. н.

**Гидрологические данные**

Данные гидрологических наблюдений на реках СССР публиковались в гидрологических ежегодниках. Обобщение этих данных было проведено в 20 томах серии «Ресурсы поверхностных вод СССР». Для рек России в настоящее время проводится второе обобщение данных — от начала наблюдений до 2017 г. включительно (например, (Георгиевский, 2020)). В настоящем исследовании мы опирались на данные, приведенные в первой обобщающей работе, так как гидрологический режим рек существенно изменился в конце 1970-х гг., в первую очередь за счет уменьшения расходов воды половодья.

**МЕТОДЫ ПАЛЕОГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ****Общие подходы к палеогидрологическим реконструкциям**

В количественной палеогидрологии используются три основных способа палеогидрологических реконструкций:

1. Расчет стока палеорек по палеоклиматическим реконструкциям с использованием уравнений водного баланса (Schumm, 1965; Gelfan et al., 2024).
2. Расчет скорости течения и расхода в палеореке для заданного уровня на основе геометрии поперечного сечения, уклона палеореки и гидравлических сопротивлений (Dury, 1965; Rotnicki, 1991).
3. Расчет стока по морфометрическим зависимостям на основе гидравлической геометрии палеорула (Dury, 1965; Маккавеев и др., 1969).

Все эти методы широко обсуждались и применялись для реконструкции речного стока по всему миру. В результате были получены такие палеогидрологические характеристики, как среднемаксимальный и среднегодовой сток, например, для рек на территории Западной и Центральной Европы (Popov et al., 2008; Vandenberghe, Sidorchuk, 2019), ВЕР (Сидорчук и др., 2008) и ЗСН (Волков, 1963).

Как было отмечено в (Панин, Сидорчук, 2006), количественные палеогидрологические реконструкции призваны решить три главные проблемы:

1. Геоморфологическую: каковы механизм и время образования больших меандрирующих палеорусел, многократно превосходивших по размерам современные речные русла?
2. Гидрологическую: какими были гидрологический режим, максимальный и годовой расходы воды, создавшие такие большие палеорула?
3. Палеогеографическую: каковы были ландшафтно-климатические условия, обеспечившие необходимые параметры стока?

Основным методом палеогидрологических реконструкций, принятым в данной работе, является метод морфометрических зависимостей на основе гидравлической геометрии палеоруслу. Этот метод в приложении к меандрирующим руслам был заложен в работах Н.И. Маккавеева (Маккавеев, Советов, 1940) и К. Инглиса (Inglis, 1947) и теоретически обоснован М.А. Великановым (1958). Для палеогидрологических реконструкций на большой территории, в силу недостаточной информации о гидравлической геометрии палеорусел, можно использовать только наиболее простые морфометрические зависимости, такие как связь между шириной русла при уровне руслонаполнения  $W$  и средним максимальным расходом половодья  $Q_{\max}$  и связь между средним максимальным расходом воды половодья  $Q_{\max}$  и площадью водосбора  $F$ .

**Определение связи между шириной русла и расходом воды**

Связь между шириной русла  $W$  и расходом воды может быть получена для одного створа при разных уровнях воды и для разных створов по длине реки при единой кривой свободной поверхности или, чаще, при расходе воды одинаковой обеспеченности. Обычно таким расходом воды является расход при уровне руслонаполнения в бровках поймы (Leopold, Wolman, 1960). Руслонаполняющий расход воды обычно близок к среднему максимальному расходу  $Q_{\max}$  (Маккавеев, 1964) и так называемому руслоформирующему расходу, действие которого на русло равнозначно среднему действию всех расходов воды, составляющих гидрограф (Маккавеев, 1955; Blom et al., 2017). Обычно такая связь записывается в виде:

$$W = a_w Q^b \tag{4}$$

Аналогичного вида морфометрические зависимости записываются для остальных главных гидравлических характеристик: скорости  $U$  и глубины  $D$  потока, уклона свободной поверхности  $S$ , а также для таких связанных с шириной русла показателей, как шаг излучин  $\lambda$  и радиус их кривизны  $R$ .

Для целей количественной палеогидрологии зависимость (4) записывается в виде:

$$Q_{\max} = aW^b \tag{5}$$

Коэффициент  $a$  и показатель степени  $b$  в формуле (5) определяются по данным измерения и расчета средних максимальных расходов половодья на гидропостах и измерения ширины русел современных рек в бровках поймы. Для учета вариабельности коэффициента  $a$  в пространстве он может быть

рассчитан для каждого гидрологического створа по формуле:

$$a = Q_{\max} / W^b \tag{6}$$

Тогда строится карта изменения усредненных значений  $a$  по территории речных бассейнов, по которой эти коэффициенты определяются в точках расположения фрагментов древних русел с измеренными значениями ширины  $W_{\text{past}}$ .

**Определение связи между расходом на максимуме половодья и площадью водосбора**

Известно (Евстигнеев, 1990), что среднемноголетний расход воды на максимуме половодья  $Q_{\max}$  увеличивается нелинейно с увеличением площади водосбора  $F$ :

$$Q_{\max} = \frac{q_0 F}{(F + 1)^n} \delta \tag{7}$$

Здесь  $q_0$  — модуль максимального стока на единичном водосборе,  $n$  — коэффициент редукции. При расчетах необходимо вводить коэффициенты изменения размерности, а также влияния озерности, заболоченности и залесенности водосбора  $\delta$ .

Эффект нелинейности в зависимости (7) реализуется редукцией модуля стока половодья и проявляется в больших речных бассейнах. При площади водосбора меньше некоторой критической величины  $F < F_u$  показатель степени редукции  $n$  существенно уменьшается, практически становится равным нулю, а модуль максимального стока для таких водосборов равен модулю стока на единичном водосборе  $q_0$  с учетом ландшафтных поправок.

Для древних рек с известной площадью водосбора и рассчитанным по формуле (5) среднегодовым максимальным расходом воды за период половодья  $Q_{\max\_past}$  строятся зависимости (7) и оцениваются коэффициенты редукции. Это дает возможность привести максимальный расход к единичной площади водосбора  $F_u$  по формуле (8):

$$Q_{\max\_u} = \delta q_0 F_u (F_u + 1)^{-n} \tag{8}$$

и вычислить слой суточного максимального стока (мм) для водосборов с площадью не более  $F_u$  по формуле (9):

$$X_{\max\_past} = 86.4 \frac{Q_{\max\_past} (F + 1)^n}{F (F_u + 1)^n} \tag{9}$$

Эти значения не зависят от площади водосбора, и их можно (в усредненном виде) положить на карту.

### **Оценка среднемноголетнего годового расхода воды древних рек**

Как уже отмечалось, морфометрические зависимости типа формулы (5) дают возможность оценить только максимальный расход воды, который определяет ширину русла меандрирующей реки. Зависимости (8) и (9) позволяют перейти от максимального расхода в данном створе к модулю максимального суточного стока для единичного малого водосбора. Переход от максимального суточного стока к среднегодовому требует применения различных гидрологических и палеогеографических гипотез по выбору современного бассейна-аналога для древней реки.

В настоящем исследовании применяются два подхода, и для обоих необходимо найти современный бассейн — аналог бассейна древней реки. Первый подход основан на переходе от среднемаксимального расхода воды для периода половодья  $Q_{\max}$  к среднегодовому расходу  $Q_{\text{mean}}$  на основе переходного коэффициента  $Y$ , который определяется для современного бассейна — аналога бассейна древней реки.

$$Y = Q_{\text{mean}}/Q_{\max} \quad (10)$$

В рамках второго подхода применяется гидрологическая модель снеготаяния. Для известного хода температуры воздуха для современного бассейна-аналога с помощью модели рассчитываются величины максимального суточного слоя стока для периода половодья  $X_{\max}$  для разных заданных величин запасов воды в снеге к началу снеготаяния  $H_{\text{snow}}$ , которые равны слою стока за половодье минус потери. Затем по этой рассчитанной зависимости  $H_{\text{snow}}$  от  $X_{\max}$  выбирается величина запасов воды в снеге к началу снеготаяния  $H_{\text{snow\_past}}$ , соответствующая максимальному суточному модулю стока  $X_{\max\_past}$  для древней реки, полученному по морфологии палеорусел. В работе (Matveeva, Sidorchuk, 2020) была предложена упрощенная модель поступления талых вод на элементарный водосбор, являющаяся синтезом моделей В.Л. Комарова (1961) и Ю.Б. Виноградова (1983). Эта модель калибрована по данным измерений стока воды во время снеготаяния на малых водосборах в тундре на полуострове Ямал, ее применение для целей палеогидрологии апробировано в (Сидорчук и др., 2023).

### **Выбор современных ландшафтно-климатических аналогов**

Выбор районов-аналогов для палеоландшафтов в современных условиях осуществляется на основе гидрологической аналогии (Глушков, 1933). Для

палеорек был предложен принцип палеогидрологической аналогии, который базируется на близких предположениях: характеристики стока для древних речных бассейнов близки к характеристикам стока современных бассейнов с ландшафтными условиями, сходными с палеогеографическими (Sidorchuk, Borisova, 2000). В настоящем исследовании применены два подхода.

В рамках первого подхода границы района-аналога определяются путем эколого-географического анализа палеоботанических (в основном палинологических) данных (Гричук, 1969; Борисова, 2021). Для датированных образцов аллювия палеореки определяется состав ископаемых флор. Для этого может быть использовано определение видов растений как по макроостаткам (плоды и семена, листья, древесина и проч.), так и по пыльце и спорам. По картам современных ареалов видов растений — компонентов каждой палеофлоры устанавливаются современные районы совместного произрастания всех этих растений или их большинства. Поскольку границы ареала растения определяются преимущественно его потребностями в теплообеспеченности и влажности, то климатические условия (основные гидроклиматические показатели) в районе, где в настоящее время совместно произрастает большинство видов ископаемой флоры (в так называемом районе-аналоге, или центре концентрации палеофлоры), должны соответствовать условиям места и времени формирования данной ископаемой флоры. Каждый такой район принимается в качестве современного ландшафтно-климатического аналога для бассейна данной палеореки соответствующего возраста, и внутри него определяются необходимые климатические показатели.

В рамках второго подхода для построения климатического аналога предлагается следующая процедура. Климат для этапа 21 тыс. л. н. — максимума последнего оледенения — исследовался на многочисленных моделях глобальной циркуляции атмосферы и океана (МОЦАиО), и результаты такого моделирования опубликованы как усредненные данные результатов расчетов по набору разных моделей (Gutiérrez et al., 2021). Моделирование климата для периода начала дегляциации около 18 тыс. л. н. (Karsch et al., 2022) показало, что незначительные изменения по сравнению с максимумом оледенения укладываются в изменчивость результатов расчета по разным моделям. Сопоставление рассчитанных палеоклиматических характеристик с современными, измеренными на метеостанциях, позволяет выбрать метеостанции-аналоги для каждого узла расчетной сетки модели и использовать измеренный на этих метеостанциях

ход температуры воздуха за период снеготаяния в качестве входных данных для гидрологической модели снеготаяния. По такой модели при заданном ходе температуры воздуха определяются запасы воды в снеге на начало снеготаяния (т. е. величина стока за половодье плюс потери), которые необходимы для формирования слоя максимального суточного стока, полученного для древних рек по морфометрическим данным.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Связь между шириной русла и расходом воды

Искомая связь устанавливалась для современных рек с унаследованным руслом и узкой поймой (типы А–С в табл. 1). Не использовались данные по рекам, где влияние распластывания вод половодья на пойме на ширину русла существенно, а также по рекам с сухими или сильно заросшими растительностью руслами. Ширина рек в бровках поймы  $W_{mod}$  (м) измерялась по космическим изображениям с сайта Гугл-Планета; средние расходы максимума половодья  $Q_{max\_mod}$  (м<sup>3</sup>/с) получены для периода измерений до 1970 г. с относительно стабильным гидрологическим режимом рек. Получены следующие коэффициенты и показатели степени по бассейнам рек ВЕР и ЗСН (табл. 3). Для сопоставления эти характеристики приведены также для рек северо-востока европейской территории России и Восточной Сибири, протекающих в условиях, близких к ландшафтным условиям формирования больших древних рек.

Средние значения показателя степени  $b$  находятся в пределах 1.28–1.42, т. е. практически

совпадают как для современных рек ВЕР, так и для рек в пределах криолитозоны Восточной и Западной Сибири. Поэтому все вычисления проводились при  $b = 1.37$ .

Гораздо существеннее вариабельность коэффициента  $a$  как между разными речными бассейнами, так и внутри одного бассейна. Поэтому расчеты максимальных расходов воды в древних реках по формуле (5) с показателем степени  $b = 1.37$  проведены в двух вариантах значений коэффициента  $a$ : 1) коэффициент  $a$  разный для разных рек разных бассейнов, согласно табл. 3, но одинаковый для рек внутри бассейна; 2) коэффициент  $a$  разный для разных рек, вычислен по формуле (6).

Для расчетов по второму варианту коэффициент  $a$  рассчитывался по формуле (6) для каждого гидрологического створа, использованного для построения зависимости (5). Методом кригинга строилась карта изменения значений  $a$  по территории речных бассейнов. Коэффициенты  $a$  определялись по этой карте в точках расположения фрагментов древних русел с измеренными значениями ширины  $W_{past}$ .

Как и следовало ожидать, значения вычисленных максимальных расходов по этим двум вариантам хорошо коррелируются ( $R^2$  не менее 0.94). Различия определяются пространственными вариациями значений коэффициента  $a$ . Так как различия между вариантами невелики, а учет изменчивости коэффициента  $a$  создает некоторую ложную корреляцию между значениями расходов воды в древних и современных реках, в дальнейшем рассматривается только первый вариант: коэффициент  $a$  разный для разных рек разных бассейнов, согласно табл. 3, но одинаковый для рек внутри бассейна.

**Таблица 3.** Коэффициенты и показатели степени в формуле (5) по бассейнам рек ( $M$  – среднее,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение,  $C_v$  – коэффициент вариации,  $\sigma/M$ )

**Table 3.** Coefficients and exponents in formula (5) for river basins ( $M$  – mean,  $\sigma$  – standard deviation,  $C_v$  – coefficient of variation,  $\sigma/M$ )

Река	Коэффициент $a$			Показатель степени $b$		
	среднее	$\sigma$	$C_v$	среднее	$\sigma$	$C_v$
Волга	1.66	2.38	1.43	1.38	0.16	0.12
Дон	1.74	1.29	0.74	1.37	0.1	0.07
Днепр	1.75	1.38	0.79	1.28	0.09	0.07
Реки Западной Сибири	0.86	1.52	2.47	1.37	0.08	0.06
Реки северо-востока ВЕР	0.96	1.29	1.34	1.34	0.05	0.04
Реки Восточной Сибири	0.96	1.85	1.93	1.42	0.11	0.08

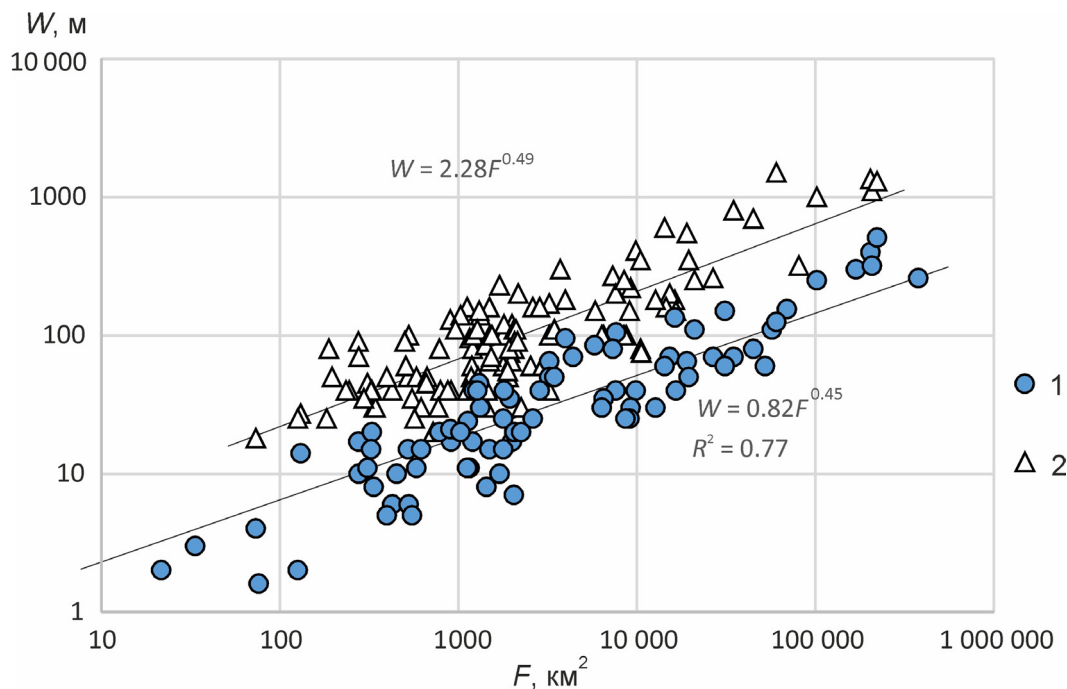
**Связь между модулем стока на максимуме половодья и площадью водосбора для палеорек**

Изменение ширины речных русел по мере увеличения площади водосбора. Изменение ширины русел, современных и древних, по длине рек по мере увеличения площади водосбора может быть описано степенными функциями вида  $W = pF^q$ . Для бассейна р. Дон показатели степени в этих функциях примерно одинаковы для современных и древних рек (рис. 9), т. е. отношение ширины древних рек к ширине современных  $W_{\text{past}}/W_{\text{mod}}$  в одних и тех же пунктах не зависит от площади водосбора. Для бассейна р. Дон такое соотношение в среднем не меняется и с изменением ландшафтных зон, современных и древних. Как уже упоминалось выше, отношение ширины древних русел к ширине современных в основном изменяется в пределах 3–7 и только в верховьях р. Северский Донец достигает 10–12. В бассейнах рек Битюг, Хопер, в среднем течении рек Северский Донец и Медведица пойма широкая (типы D–E). Здесь возможно относительное уменьшение ширины современных русел за счет распластывания потока половодья на пойме. Этим объясняются большие значения отношения ширины древних русел к ширине современных, часто лежащие в диапазоне 7–12. Бурение на таких

поймах показывает широкие и глубокие поперечные профили палеорусел (Панин и др., 2013).

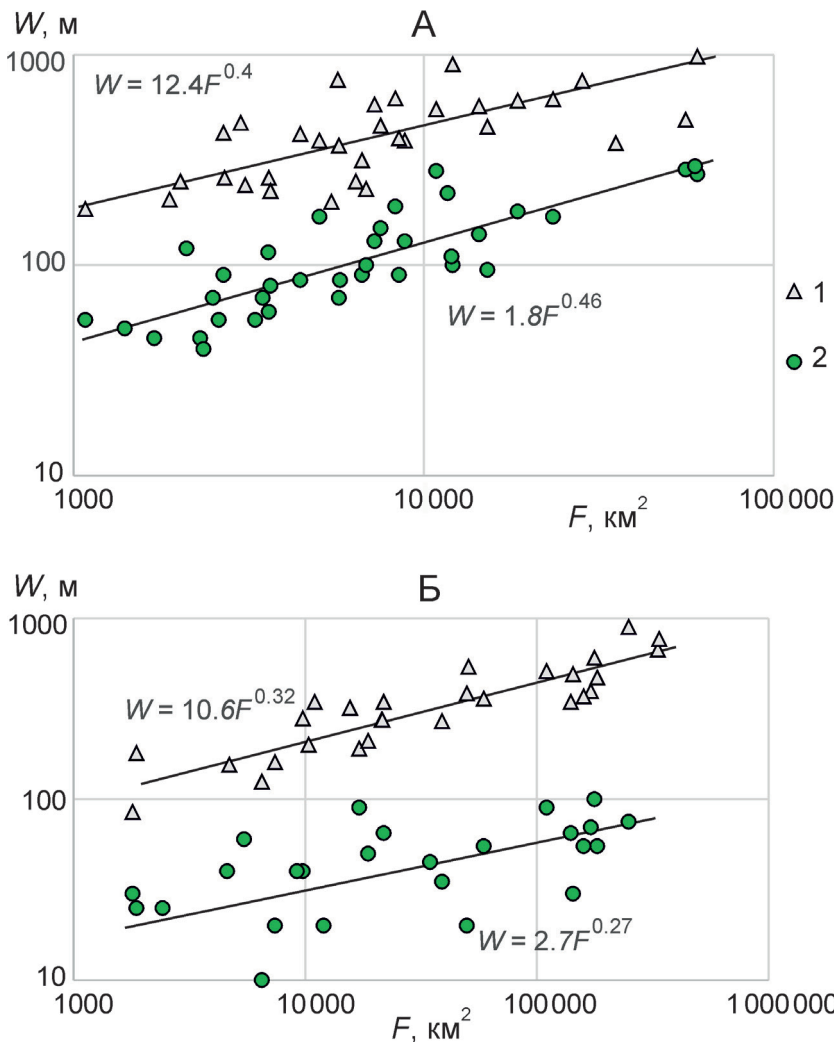
Для бассейнов рек ЗСН соотношение ширины русла древних и современных рек в тех же пунктах также не зависит от площади водосбора, показатели степени в функциях  $W = pF^q$  примерно одинаковы для современных и древних рек (рис. 10). Но здесь соотношение коэффициентов  $p$  в этих функциях и соответственно отношение  $W_{\text{past}}/W_{\text{mod}}$  существенно различны для разных ландшафтных зон. Как уже отмечалось выше, среднее значение  $W_{\text{past}}/W_{\text{mod}}$  увеличивается от 2.0–3.5 в области современной вечной мерзлоты, которая примерно соответствует древней области тундры и тайги, до 8 в области перигляциальных степей (современные средняя и южная тайга и лесостепь). Показатели степени  $q$  также различны для разных ландшафтных зон: 0.45–0.46 для рек северной части равнины (севернее 60° с. ш.) и 0.27–0.32 для рек ее южной части, но их значения близки для древних и современных рек.

Иная картина характерна для бассейнов Волги и Днепра. Здесь показатели степени в функциях  $W = pF^q$  существенно различаются для современных и древних рек (рис. 11). Для современных рек показатели степени  $q$  составляют 0.47 для бассейнов и Волги, и Днепра, что близко к значениям для бассейна Дона и севера ЗСН (0.45).



**Рис. 9.** Связь между шириной русла при уровне руслонаполнения  $W$  и площадью водосбора  $F$  для: 1 – современных и 2 – палеорек бассейна р. Дон

**Fig. 9.** Relationship between bankfull width  $W$  and the catchment area  $F$  for 1 – modern and 2 – paleorivers of the Don River basin



**Рис. 10.** Связь между шириной русла при уровне руслонаполнения  $W$  и площадью водосбора  $F$  для: 1 – современных и 2 – палеорек бассейнов рек северной части ЗСН (А) и бассейна р. Обь южнее Северных Увалов (Б)

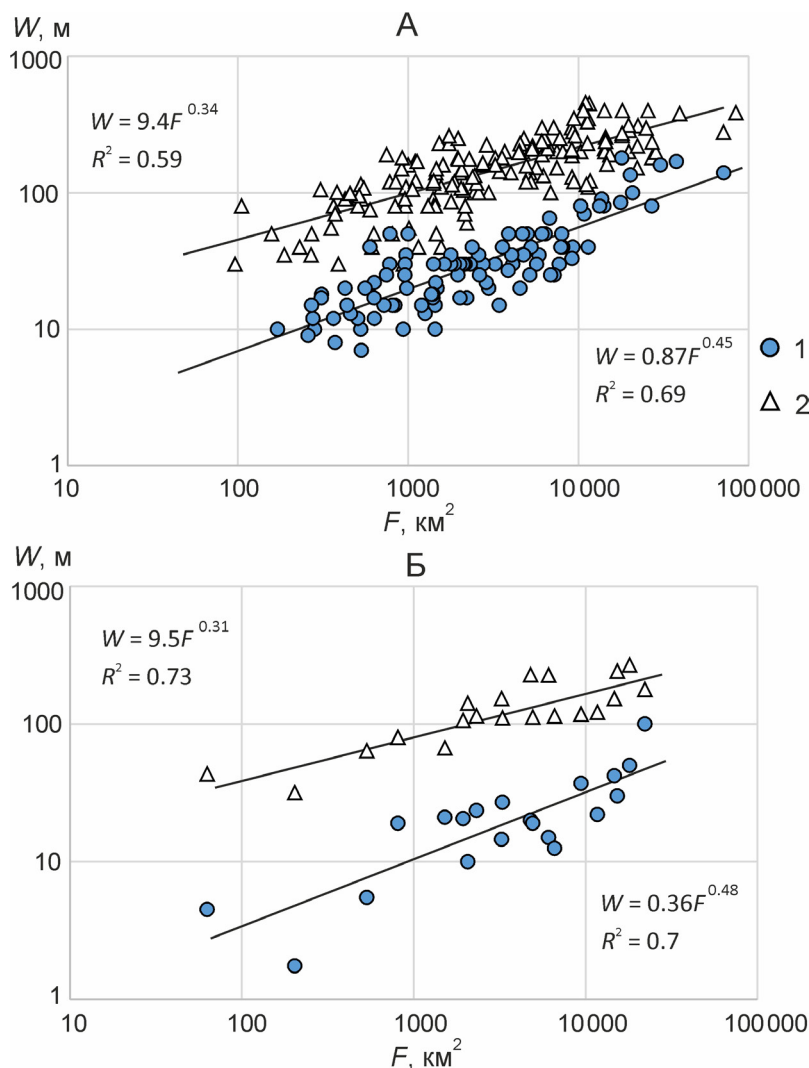
**Fig. 10.** Relationship between bankfull width  $W$  and the catchment area  $F$  for 1 – modern and 2 – paleorivers of the river basins (А) of the northern part of Western Siberia and (Б) of the Ob River basin south of the Severnye Uvaly

Для древних рек показатели степени  $q$  составляют 0.37 для бассейна Волги и 0.32 для бассейна Днепра. Это означает, что отношение  $W_{\text{past}}/W_{\text{mod}}$  уменьшается по длине рек с увеличением площади бассейна. Это особенно хорошо видно для тех рек, для которых достаточно данных, чтобы построить местные функции  $W = rF^q$  для современных русел и для палеорусел. Например, на поймах рек Хорол, Псел и Сула фрагменты палеорусел сохранились очень хорошо и прослеживаются от самых верхних до устья (рис. 11Б). Отношение  $W_{\text{past}}/W_{\text{mod}}$  для Хорола уменьшается от 9–18 до 4 при увеличении площади водосбора с 60 до 3700 км<sup>2</sup>.

*Расчет модуля стока на максимуме половодья.* Для больших палеорек с помощью зависимости (5) рассчитаны среднемноголетние максимумы расходов воды половодья  $Q_{\text{max\_past}}$ . Зависимость этих величин от площадей водосбора современных рек в конкретных створах во многом определяется связями ширины палеорусел с площадью водосбора, рассмотренными в предыдущем разделе. Показатели степени редукции  $n$  для разных палео-

ландшафтов внутри каждого бассейна ВЕР статистически не различаются, но различны для разных бассейнов. Так, редукция максимальных расходов в палеореках в бассейне р. Дон сравнительно невелика ( $n = 0.27$ ) и мало отличается от редукции на современных реках. В бассейнах Волги и Днепра показатели степени редукции  $n$  могут быть больше современных: 0.3 для Днепра и до 0.35 для нижней Волги. Это связано с разными типами зависимости ширины русел от площади водосбора для современных и древних рек. Однако такая редукция максимума волны половодья в целом не противоречит рекомендациям по назначению этого показателя в разных ландшафтных зонах (Евстигнеев, 1990).

На реках северной части ЗСН (севернее Сибирских Увалов) показатель степени редукции для древних рек  $n = 0.27$ , что несколько больше современного (0.22), но в пределах изменчивости для современных рек России. В этой области палеореки могли быть врезаны из-за регрессии Мирового океана. Степень этого врезания не могла быть высокой, так как осушенный шельф Карского моря широкий



**Рис. 11.** Связь между шириной русла при уровне руслонаполнения  $W$  и площадью водосбора  $F$  для: 1 – современных и 2 – палеорек (А) всего бассейна Днепра и (Б) бассейнов левых притоков южного Днепра (реки Псел, Хорол, Сула)

**Fig. 11.** The relationship between bankfull channel width  $W$  and the catchment area  $F$  for: 1 – modern and 2 – paleorivers: (А) of the entire Dnieper basin and (Б) of the basins of the left tributaries of the southern Dnieper (the Psel, Khorol, and Sula rivers)

и пологий. Тем не менее большинство фрагментов палеорусел в северной части ЗСН расположены на первых террасах, т. е. некоторое врезание рек там произошло. На реках южной части низменности было велико значение климатической зональности и общего уменьшения стока с севера на юг. Это явление хорошо заметно при использовании показателя степени редукции для древних рек  $n = 0.27$  и для рек юга низменности.

#### **Распределение максимального суточного слоя стока половодья по площади бассейнов**

Для дальнейшего анализа слоя стока его необходимо было привести к единичной (критической) площади водосбора. Для древних рек нет возможности установить величину единичной (критической) площади водосбора из-за значительного разброса точек в зависимостях  $Q_{\max} = f(F)$  в области малых площадей водосборов. Поэтому для установления критической площади воспользуемся данными наблюдений на современных реках. Для

современных рек бассейна Дона критическая площадь водосбора близка к  $1000 \text{ км}^2$ . В бассейнах рек с площадями меньше критической величины максимальный расход воды изменяется с площадью водосбора линейно, а модуль стока от площади водосбора не зависит (см. рис. 6 в (Сидорчук, 2023)). Эти наблюдения дают возможность и для древних рек установить критическую площадь водосбора в  $1000 \text{ км}^2$  и привести к этой площади модули стока максимума половодья древних (и, для сравнения, современных) рек по формуле (9). Такие модули стока близки к величинам слоя максимальной суточной водоотдачи во время снеготаяния  $h_{\max\_past}$  (без учета трансформации стока при склоновом сбегании). Поскольку приведенные модули стока не зависят от площади водосбора, их распределение (с использованием кригинга) может быть показано на карте (рис. 12), и могут быть получены средние величины для отдельных бассейнов. В табл. 4 вынесены результаты расчета средних, среднеквадратических отклонений и коэффициентов вариации

величин  $X_{\max}$  для современных рек и описанного выше варианта 1 расчета максимальных расходов воды для древних рек, а также отношения средних  $X_{\max}$  для древних и современных рек.

Изменение максимального слоя стока древних рек по территориям речных бассейнов вполне закономерно. Хорошо выражена общая тенденция к уменьшению максимального суточного слоя стока с севера на юг как для рек ЗСН (от 60–80 до 30–40 мм/сут), так и для рек южного мегасклона ВЕР (от 60–80 до 20–30 мм/сут). Средние по территориям величины максимального слоя стока составляли 50 мм/сут на ВЕР и 54 мм/сут на ЗСН.

Неравномерность максимального стока на ВЕР была обусловлена в основном орографическими эффектами: даже невысокие возвышенности (с наибольшими высотами 250–300 м) определяли асимметрию распределения слоя стока — увеличение на западных склонах и уменьшение на восточных. Существенное влияние оказывал Уральский хребет, его воздействие приводило к тому, что в бассейне Камы слой стока был больше, чем в левобережных притоках Иртыша и нижней Оби. Орографические эффекты существенно маскируют неравномерность максимального стока по меридиану как в прошлом, так и в современности. Тем не менее она хорошо видна в древности в центральной части ВЕР и особенно на востоке бассейна Волги. Здесь эта неравномерность проявлялась в полной мере: градиент суточного слоя максимального стока по меридиану от 59°30' до 51°30' с. ш. составлял 6.4 мм/град (51 мм, от 80 до 29 мм). На ЗСН неравномерность максимального стока по меридиану также проявлялась хорошо, хотя и с меньшим градиентом: от 68°30' до 49°30' с. ш. градиент составлял 3.5 мм/град (66 мм, от 81 до 15 мм). Градиент неравномерности современного максимального стока на ЗСН вдвое меньше, чем был 18 тыс. л. н.

Очень большие величины  $X_{\max}$ , близкие к слою максимальной суточной водоотдачи на малых водосборах во время снеготаяния  $h_{\max\_past}$ , предполагают наличие на равнинах Северной Евразии в конце плейстоцена — начале позднеледниковья значительных запасов воды в снеге к началу весны и дружного весеннего снеготаяния. Пространственное распределение максимального слоя стока показывает, что поступление влаги на ВЕР шло преимущественно с северо-запада на юго-восток, а на ЗСН — с северо-востока на юго-запад.

**Годовой сток воды древних рек**

Переход от максимальных суточных величин стока к среднемноголетним годовым значениям при отсутствии гидрологических наблюдений невозможен без применения географической аналогии. Эта задача тем более сложна для древних ландшафтов определенного времени и территории, когда аналогии приходится искать в ландшафтах современных. В настоящем исследовании применены два метода поиска современных гидроклиматических аналогов для конца плейстоцена — начала позднеледниковья: 1) по палеоботаническим данным и 2) на основании результатов моделирования климата на МОЦАиО.

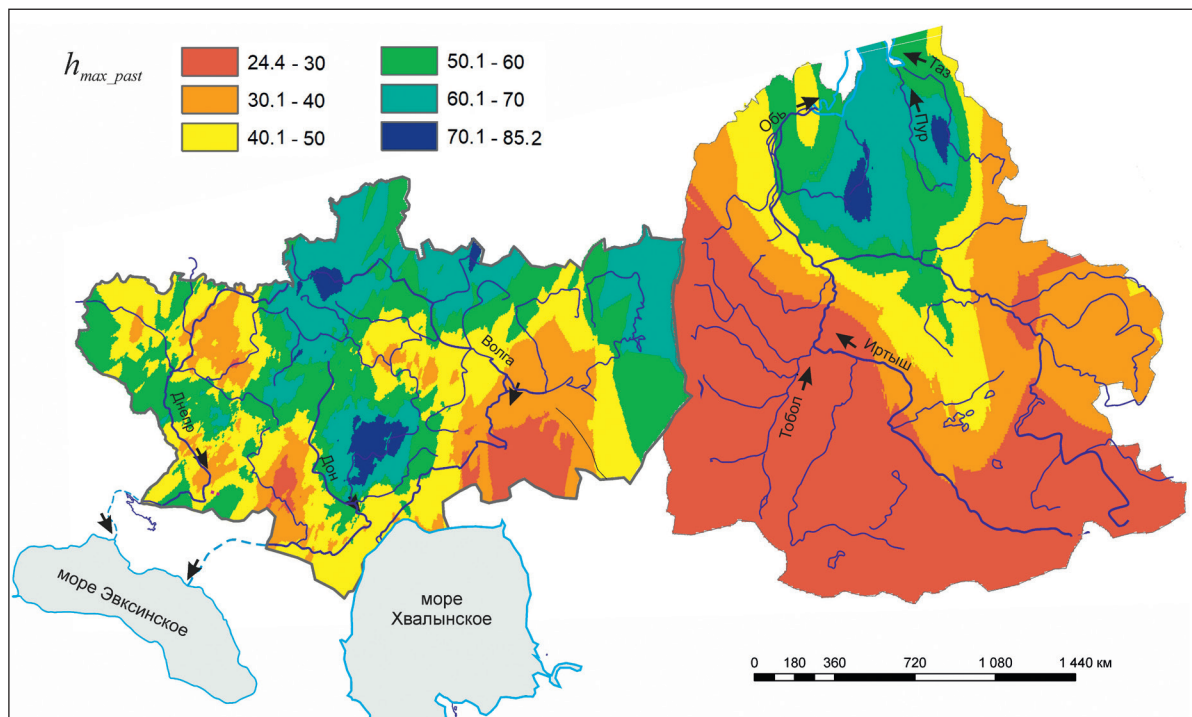
*Реконструкция гидроклиматических условий палеофлористическим методом.* Для реконструкции расходов воды в палеореках с изученной морфометрией были использованы данные по датированным ископаемым флорам из нескольких опорных разрезов (табл. 5). По этим флорам были построены центры современной концентрации входящих в них видов растений и количественно оценены климатические характеристики районов-аналогов для интервала 14–18 тыс. л. н. Для мест обнаружения палеофлор и центров их современной концентрации

**Таблица 4.** Результаты расчета характерных величин максимального суточного слоя стока ( $X_{\max}$ ) для периода паводка на малых водосборах для современных и древних рек ( $M$  — среднее,  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение,  $C_v$  — коэффициент вариации,  $\sigma/M$ )

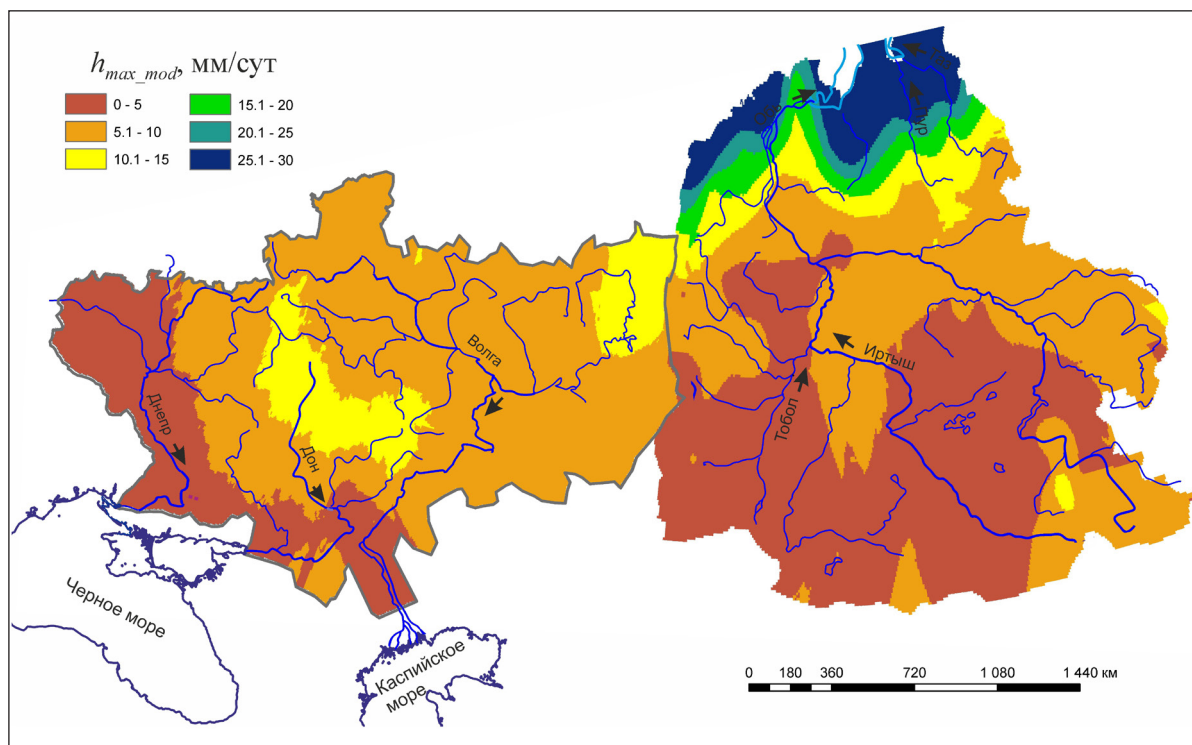
**Table 4.** Results of calculation of characteristic values of the maximum daily runoff depth for the flood period in small catchments for modern and ancient rivers ( $M$  — mean,  $\sigma$  — standard deviation,  $C_v$  — coefficient of variation,  $\sigma/M$ )

Реки	Современные			Древние			Отношение средних $X_{\max\_past}/X_{\max\_mod}$
	$M$	$\sigma$	$C_v$	$M$	$\sigma$	$C_v$	
Волга	8.3	1.8	0.22	50.6	12.9	0.25	6.1
Дон	7.2	2.7	0.38	50.7	12.5	0.25	7.0
Днепр	4.9	2.1	0.43	48	7.3	0.15	9.8
Реки севера Западной Сибири	25.4	9.8	0.39	64	4.7	0.07	2.5
Обь	6.8	5.8	0.85	54	8.1	0.15	7.9

А



Б



**Рис. 12.** Распределение слоя максимальной суточной водоотдачи во время снеготаяния  $h_{max\_past}$  (в мм/сут) для единичного водосбора ( $F \leq 1000 \text{ км}^2$ ) (без учета трансформации стока при склоновом сбегании) для бассейнов рек южного мегасклона ВЕР и ЗСН: А – в период формирования больших рек, 14–18 тыс. л. н.; Б – для современных рек

**Fig. 12.** Distribution of the daily surface runoff depth during the snow thaw period  $h_{max\_past}$  for the unit catchment ( $F \leq 1000 \text{ км}^2$ ) (without taking into account the transformation of hydrograph due to slope runoff) for the river basins of the southern megaslope of the East European Plain and West Siberian Lowland: А – during the formation of large rivers, 14–18 ka BP; Б – for modern rivers

с соответствующих климатических карт (Физико-географический..., 1964) сняты среднемесячные температуры воздуха для января и июля.

Современные центры концентрации изученных палеофлор в диапазоне возраста 14–18 тыс. л. н. расположены в межгорных котловинах Алтая и Саян. Использовать напрямую гидрологические характеристики таких районов-аналогов для оценки внутригодовой изменчивости стока больших равнинных палеорек невозможно из-за того, что эти районы-аналоги расположены в горах. На равнинной территории близкие по климатическим характеристикам (зимним и летним температурам воздуха) ландшафты находятся в Большеземельской тундре в бассейне р. Печоры и ее притоков, в бассейне р. Вилюй и на полуострове Ямал. Для бассейна р. Вилюй получены значения параметра внутригодовой неравномерности стока  $Y$  (см. формулу 10) для водосборов с площадью менее 1000 км<sup>2</sup>:

$$Y = \frac{Q_{a\text{ mean}}}{Q_{\text{max}}} = \frac{X_{a\text{ mean}}}{X_{\text{max}}}, \quad (11)$$

которые изменяются от 0.02 до 0.03 (рис. 13). Если к данным табл. 4 применить более консервативное значение, то получим годовой сток больших рек по бассейнам (в км<sup>3</sup>), приведенный в табл. 6.

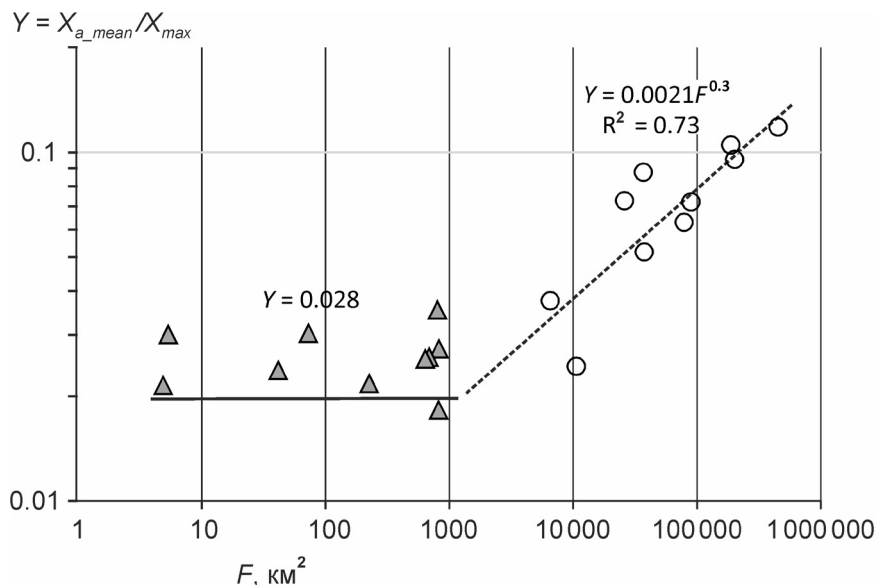
*Территории-аналоги, определенные по данным МОЦАиО.* Принята гипотеза, что значения температуры воздуха, полученные усреднением результатов расчета по набору разных МОЦАиО для этапа 21 тыс. л. н. (Gutiérrez et al., 2021), отражают климат эпохи формирования больших рек. Эта гипотеза базируется на датировках аллювия больших рек (начало дегляциации, около 18 тыс. л. н.) и результатах палеогеографических реконструкций для этого периода. Для выбора аналога реализована следующая процедура. Для каждого узла сетки в 1 градус выбраны ряды рассчитанных среднемесячных температур воздуха с января по июль и проведен поиск соответствия этим рядам по минимуму индекса RMSD (Root Mean Square Deviation) рядов среднемесячных температур воздуха с января по август на 521 метеорологической станции России (Булыгина и др., 2014). Такой поиск привел к до-

**Таблица 5.** Центры современной концентрации видов растений и количественные оценки климатических показателей в районах-аналогах в позднем плейстоцене

**Table 5.** Centers of modern concentration of plant species and quantitatively estimated climatic characteristics of regions-analogues for the late Pleistocene

№	Индексы палеофлор и названия пунктов	Калибр. возраст палеофлор, тыс. л. н.	Координаты места обнаружения палеофлоры		Т воздуха в месте обнаружения палеофлоры		Положение современного района-аналога	Координаты современного района-аналога палеофлоры		Т воздуха в современном районе-аналоге	
			с. ш.	в. д.	T <sub>январь</sub> , °C	T <sub>июль</sub> , °C		с. ш.	в. д.	T <sub>январь</sub> , °C	T <sub>июль</sub> , °C
1	<b>G1</b> Галичское оз.	24	58°30'	42°30'	-13	17.5	Хакасия	54°30'	92°30'	-17	11
2	<b>S1</b> Слобода	21	55°30'	30°30'	-7.5	17.0	Тункинская котловина	51°30'	101°30'	-21.5	9
3	<b>M1</b> Москва-река	18.5	55°30'	38°30'	-10.5	17.5	низовья р. Чулышман	51°00'	88°00'	-19	12
4	<b>Yu</b> Юдиново	(17.2)*	52°30'	33°30'	-8.5	18.5	верховья р. Катунь	51°00'	87°00'	-16	16.5
5	<b>Ye</b> Елисеевичи	(17.1)	53°00'	34°30'	-8.5	18.5	низовья р. Чулышман	51°00'	88°30'	-17	17.5
6	<b>Sm</b> Сейм_1	16.9	52°00'	35°30'	-8.0	19.5	Тункинская котловина	51°30'	103°00'	-24	16

\* Возраст ПФ, показанный в скобках, получен путем интерполяции между имеющимися радиоуглеродными датировками.



**Рис. 13.** Связь соотношения максимального и среднегодового суточного слоя стока (соответственно  $Y$ ,  $X_{\max}$  и  $X_{a\_mean}$ ) с площадью водосбора  $F$  для рек бассейна р. Вилюй

**Fig. 13.** The relationship between the ratio of the daily maximum and mean annual runoff depth (respectively  $Y$ ,  $X_{\max}$  and  $X_{a\_mean}$ ) and river basin area  $F$  for the rivers of the Vilyuy River basin

**Таблица 6.** Годовой сток древних больших рек  $W_{a\_past}$  по бассейнам, рассчитанный по аналогу в бассейне Вилюя, и сравнение его с современным  $W_{a\_mod}$  ( $F$  – площадь водосбора)

**Table 6.** Annual flow of ancient large rivers  $W_{a\_past}$  by basin, calculated from an analogue in the Vilyuy basin, and its comparison with modern annual flow  $W_{a\_mod}$  ( $F$  – catchment area)

Река	$F$ , тыс. км <sup>2</sup>	$W_{a\_mod}$ , км <sup>3</sup>	$W_{a\_past}$ , км <sup>3</sup>	$W_{a\_past} / W_{a\_mod}$
Волга	1360	254	502	2.0
Дон	422	29	156	5.4
Днепр	504	54	177	3.3
Реки севера Западной Сибири	602	~120	281	2.3
Обь	2630	345	1037	3.0

вольно логичному географическому распределению метеорологических станций – аналогов как для территории южного мегасклона ВЕР (рис. 14А), так и для территории ЗСН (рис. 14Б), места расположения которых являются современными климатическими аналогами соответствующих территорий в эпоху формирования больших рек по температуре воздуха.

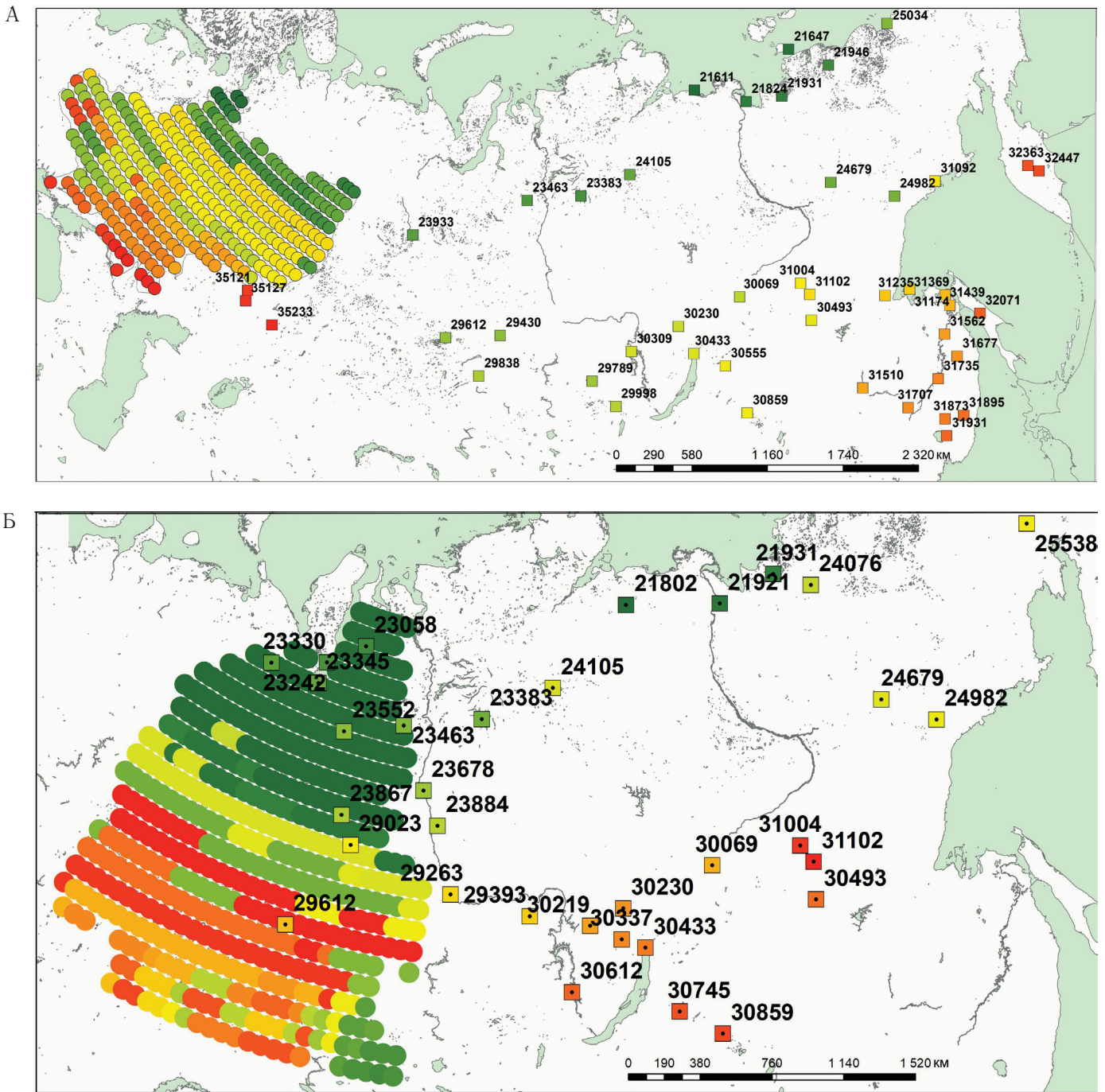
Современным климатическим аналогом территорий на севере бассейна Волги, которые в плейстоцене были заняты тундрами с участием холодоустойчивых ксерофитных сообществ и редколесий, является тундровое побережье Северного Ледовитого океана от низовьев р. Оленек до бухты Амбарчик (станции 21611, 21824, 21931, 21946, 25034, см. расположение станций в табл. 7) и даже арктический о. Шалаурова (станция 21647).

Для севера бассейна Камы в верховьях Колвы современным аналогом является станция Юбилейная (21931) в низовьях Яны. Метеостанции-аналоги для более южных территорий в бассейне р. Москвы

и в верховьях Днепра, где в позднем плейстоцене в тундровой растительности участвовали степные элементы, располагаются в среднегорьях, например, в верховьях Алдана (станции 30493, 31102) и в Забайкалье (станция 30555).

Для территорий перигляциальной лесостепи в бассейне Волги и Камы и в верховьях Дона и Днепра современными климатическими аналогами являются бассейны притоков верхней Лены (Киренга, станция 30230), рек Чара (станция 30069), Алдан (31004) и Тимптон (31102, 30493). Самые западные территории в бассейне Днепра получили аналоги на Дальнем Востоке: на Камчатке (32447), на побережье Охотского моря (31092), в низовьях Амура (31439) и на Сахалине (32041).

Древняя разнотравно-злаковая степь занимала низовья Волги, южную часть бассейна Дона и юго-запад бассейна Днепра. Бассейн Днепра на широте устья Десны получил аналог на средней Оби устья Иртыша (23933), южнее – в верховьях Томи (29430) и Оми (29612), еще южнее, на широте



**Рис. 14.** Современные метеостанции-аналоги (квадраты) для каждого узла сетки МОЦАиО (кружки): А – для территории южного мегасклона ВЕР; Б – для территории ЗСН. Места расположения метеостанций являются современными климатическими аналогами по температуре воздуха для соответствующих территорий в эпоху формирования больших рек. Номера метеостанций соответствуют табл. 7; цвета одинаковы для парных значков метеостанций и узлов сетки

**Fig. 14.** Modern weather stations-analogues (squares) for each AOGCM grid node (circles): А – for the territory of the southern megaslope of the East European Plain; Б – for the territory of the West Siberian Lowland. The locations of the weather stations are modern climatic analogues in air temperatures of the corresponding territories during the period of large rivers' formation. Weather station numbers correspond to Table 7; colours are the same for paired weather stations and grid nodes

**Таблица 7.** Метеостанции-аналоги для реконструкции климата территорий южного мегасклона ВЕР и ЗСН 14–18 тыс. л. н.**Table 7.** Weather stations – analogues for the climate of the territories of the southern megaslope of the East European Plain and Western Siberia 14–18 ka BP

Индекс ВМО	Наименование станции	Координаты станции		Высота метеоплощадки, м н. у. м.	Начало наблюде- ний, год
		широта	долгота		
21611	Терпяй-Тумса	73°33'	118°40'	12	1959
21647	Шалаурова	73°11'	143°14'	21	1928
21802	Саскылах	71°58'	114°05'	16	1935
21824	Тикси	71°35'	128°55'	6	1932
21921	Кюсюр	70°41'	127°24'	30	1909
21931	Юбилейная	70°46'	136°13'	23	1934
21946	Чокурдах	70°37'	147°53'	44	1939
23058	Антипаюта	69°05'	76°51'	2	1961
23242	Новый Порт	67°41'	72°53'	11	1961
23330	Салехард	66°32'	66°40'	15	1961
23345	Ныда	66°37'	72°54'	5	1961
23383	Агата	66°53'	93°28'	277	1971
23463	Янов Стан	65°59'	84°16'	41	1971
23552	Тарко-Сале	64°55'	77°46'	26	1961
23678	Верхнеимбатск	63°09'	87°57'	46	1971
23867	Ларьяк	61°06'	80°15'	55	1961
23884	Бор	61°36'	90°01'	62	1936
23933	Ханты-Мансийск	61°02'	69°07'	44	1962
24076	Депутатский	69°23'	139°53'	281	1961
24105	Ессей	68°28'	102°22'	272	1966
24679	Восточная	63°13'	139°36'	1292	1942
24982	Уега	60°43'	142°47'	396	1961
25034	Бухта Амбарчик	69°37'	162°18'	24	1933
25538	Верхне-Пенжино	64°13'	164°14'	324	1944
29023	Напас	59°51'	81°57'	77	1932
29263	Енисейск	58°27'	92°09'	77	1853
29393	Червянка	57°39'	99°32'	219	1940
29430	Томск	56°30'	84°55'	141	1837
29612	Барабинск	55°20'	78°22'	119	1900
29789	Верхняя Гутара	54°13'	96°58'	983	1935
29838	Барнаул	53°26'	83°31'	183	1838
29998	Орлик	52°30'	99°49'	1376	1934
30069	Перевоз	59°00'	116°55'	330	1937
30219	Максимово	57°06'	104°58'	354	1912
30230	Киренск	57°46'	108°04'	256	1892
30309	Братск	56°17'	101°45'	411	1901

30337	Казачинское	56°19'	107°37'	355	1942
30433	Нижнеангарск	55°47'	109°35'	477	1933
30493	Нагорный	55°57'	124°55'	845	1935
30555	Троицкий Прииск	54°35'	113°09'	1315	1938
30612	Балаганск	54°00'	103°04'	428	1962
30745	Сосново-Озерское	52°32'	111°33'	952	1935
30859	Агинское	51°06'	114°31'	680	1908
31004	Алдан	58°36'	125°23'	678	1926
31092	Талон	59°46'	148°38'	19	1953
31102	Канку	57°39'	125°58'	1204	1950
31174	Большой Шантар	54°50'	137°32'	9	1924
31235	Джана	55°19'	134°33'	318	1952
31369	Николаевск-на-Амуре	53°09'	140°42'	45	1854
31439	Богородское	52°23'	140°28'	33	1935
31510	Благовещенск	50°17'	127°29'	168	1859
31562	Нижнетамбовское	50°55'	138°11'	24	1932
31677	Солекуль	49°10'	138°03'	915	1935
31707	Екатерино-Никольское	47°44'	130°58'	71	1890
31735	Хабаровск	48°31'	135°07'	88	1878
31873	Дальнереченск	45°52'	133°44'	100	1909
31895	Мельничное	45°27'	135°30'	331	1935
31931	Свиягино	44°48'	133°05'	99	1938
32071	Тымовское	50°44'	142°43'	94	1886
32363	Эссо	55°56'	158°42'	480	1941
32447	Долиновка	55°07'	159°04'	101	1936
35121	Оренбург	51°41'	55°06'	115	1843
35127	Акбулак	51°01'	55°38'	143	1927
35233	Домбаровский	50°45'	59°33'	277	1937

устья Орели – в верховьях Оби (29838). Низовья Днепра (в древности сухие степи) имеют современным аналогом среднее течение р. Илек (приток Урала, 35127), протекающей в современных сухих степях. Бассейны нижнего Дона и нижней Волги получили в качестве современного климатического (температурного) аналога места расположения метеостанций в низовьях Амура (31562, 31707, 31735, 31873, 31895, 31931). Только самые низовья Волги и Дона, как и Днепра, имеют современным аналогом бассейн Урала (35121, 35233) в современных сухих степях. Величина RMSD для всех станций, перечисленных выше, довольно низкая (не более 2.3 °C).

Для всей северной части ЗСН (для бассейнов нижней Оби и рек, впадающих в Обскую и Тазовскую губу), расположенной в древней зоне мохово-кустарничковых тундр и березового и ело-

вого редколесья, современным аналогом является средняя часть бассейна р. Анабар (станция 21802) в зоне кустарничковых тундр. Величина RMSD довольно велика (6.5–7.3 °C) на самом севере Западной Сибири (70°30' с. ш.) и линейно уменьшается до 1.5–2 °C к 61°30' с. ш.

Для территории Западной Сибири между 61°30' и 57°30' с. ш. в древней зоне луговых степей с березовыми и еловыми лесами современным климатическим аналогом является полоса кустарничковых тундр и гипоарктических таежных редколесий (северо-восточный кластер I на рис. 6) на востоке от междуречья Яны и Индигирки (станция 24076), низовьев р. Яны (станция 21931) и низовьев Лены (станция 21921) до среднего течения р. Турухан (станция 23463) на западе. При этом чем восточнее расположена метеостанция-аналог, тем севернее

располагается соответствующая территория в Западной Сибири. Величина RMSD в этой области не превышает 1–1.5 °C.

Южнее параллели 57°30' с. ш., в древней зоне полынных степей, современным климатическим аналогом является полоса бореальных таежных редколесий от верховьев Алдана на востоке (станции 30493, 31004, 31102), верховьев Лены (станции 30219, 30230, 30337) и Ангары (станция 30612) в средней части, на Енисее около устья Ангары (станция 29263) и до Барабинской степи (станция 29612) на западе. В основном соблюдается закономерность: чем севернее располагается соответствующая территория в Западной Сибири, тем восточнее или севернее расположена метеостанция-аналог, и чем южнее территория в Западной Сибири, тем западнее или южнее метеостанция-аналог. Величина RMSD здесь не превышает 1–1.8 °C.

Северный кластер метеостанций-аналогов расположен в низовьях Оби (станция 23330), на побережье Обской и Тазовской губы (станции 23058, 23242, 23345) и в среднем течении Пура (станция 23552) в современных зонах кустарничковой тундры и лесотундры. Эта современная территория является аналогом для древней зоны остепненных березовых и сосновых лесов в верховьях Оби. Чем севернее лежит территория в Западной Сибири, тем южнее расположена метеостанция-аналог, так как наиболее суровые климатические условия отмечаются на юге, в горном Алтае. Величина RMSD в этой области не превышает 1 °C.

В целом современным аналогом ландшафтов времени формирования больших рек в основном (за исключением самых южных областей) является область Восточной Сибири с континентальным климатом, вечной мерзлотой, тундровой и таежной растительностью, равнинной на крайнем севере и среднегорной на остальной территории расположения аналогов. Такой климатический аналог, построенный по данным реконструкций температуры воздуха с помощью МОЦАиО, не противоречит палеофлористическим построениям для указанного периода.

Однако нужно подчеркнуть, что территории большинства метеорологических станций могут быть современными аналогами соответствующих территорий в эпоху формирования больших рек только по температуре воздуха. Попытка использовать эти территории как современные аналоги слоя поверхностного стока, снятого с соответствующей карты Национального атласа России (2007), показала отсутствие соответствия между распределением слоя стока по аналогам и слоя максимального стока за половодье, рассчитанного по морфометрии больших палеорусел. Прямые данные МОЦАиО

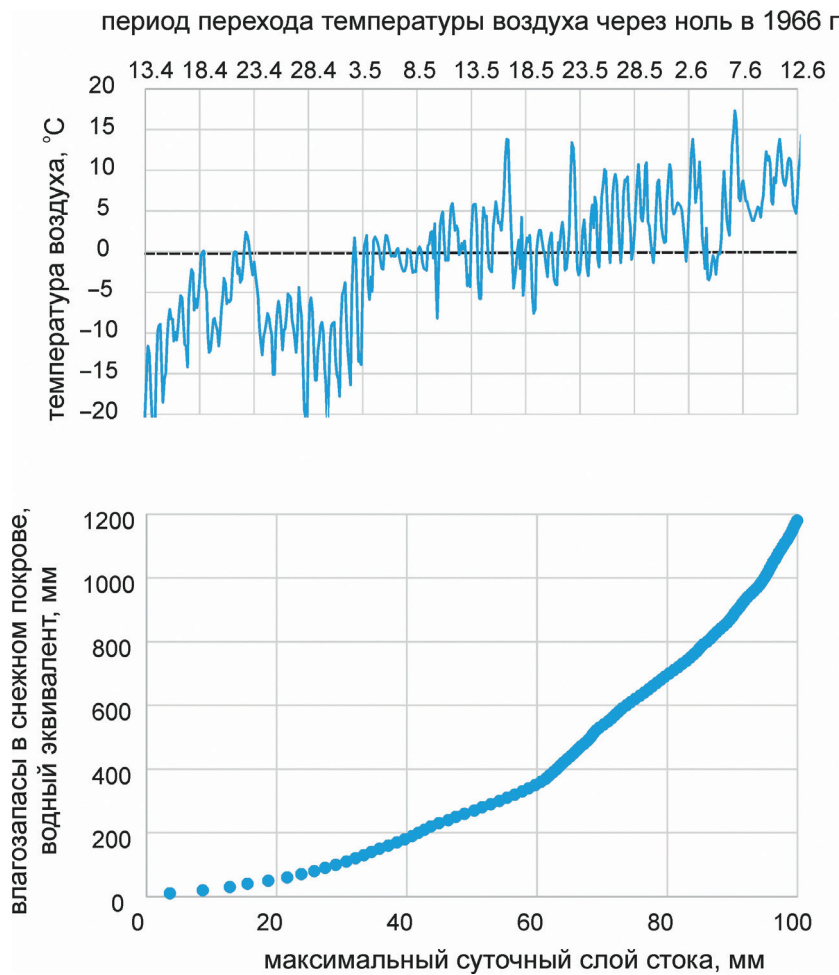
дают общее уменьшение зимних и годовых осадков для южной части ВЕР и для ЗСН для максимума последнего оледенения и в качестве гидрологического аналога использованы быть не могут. Поэтому применено сочетание данных МОЦАиО для поиска аналогов по температуре воздуха, данных о температуре воздуха на метеостанциях-аналогах и данных о максимальном стоке по морфометрии больших древних рек.

*Среднегодовой слой стока, рассчитанный с помощью гидрологической модели.* Для рек в области вечной мерзлоты среднегодовой сток практически равен слою стока весеннего половодья. Для его определения для каждого узла расчетной сетки МОЦАиО южного мегасклона ВЕР и ЗСН имеется ход температуры воздуха для периода снеготаяния по данным метеостанций-аналогов за период 1965–2024 гг. и слой максимального суточного стока  $X_{\max}$ , вычисленный по морфометрии палеорусел и площади речных водосборов. С помощью модели снеготаяния необходимо найти такую величину запасов воды в снеге к началу снеготаяния  $H_{\text{snow}}$ , чтобы для заданного хода температуры воздуха получить заданную величину максимального суточного слоя стока  $X_{\max}$ , среднюю за период расчета.

Осуществимость такой процедуры была показана для одной метеостанции-аналога в (Сидорчук и др., 2023). Была использована упрощенная модель снеготаяния (Matveeva, Sidorchuk, 2020), являющаяся синтезом моделей В.Л. Комарова (1961) и Ю.Б. Виноградова (1983). Модель была калибрована по данным измерений на полуострове Ямал, в первую очередь уточнялись значения коэффициента стаивания и характер неравномерного распределения снега по водосбору.

В настоящей работе расчеты выполнены для 65 метеостанций-аналогов для перигляциальной зоны ВЕР и ЗСН (некоторые станции повторяются на разных территориях). В ходе расчетов для каждой станции получена зависимость между  $X_{\max}$  и  $H_{\text{snow}}$  (рис. 15). Все зависимости нелинейны, производная  $dH_{\text{snow}}/dX_{\max}$  увеличивается с увеличением  $X_{\max}$ .

По этим зависимостям для каждой станции-аналога определялись величины  $H_{\text{snow}}$  для каждого узла расчетной сетки МОЦАиО южного мегасклона ВЕР и ЗСН, после чего, исходя из предположения, что потери стока на инфильтрацию незначительны и запасы воды в снеге равны слою стока за половодье (что для рек в зоне вечной мерзлоты практически равносильно характеристикам среднегодового стока  $X_{\text{mean}_a}$ ), строились карты распределения  $X_{\text{mean}_a}$  по территории (рис. 16А) и оценивались средние и предельные величины для крупных речных бассейнов (табл. 8).



**Рис. 15.** Расчеты по модели снеготаяния (Matveeva, Sidorchuk, 2020) для метеостанции Канку (№ 31102): А – ход температуры воздуха для периода снеготаяния в 1966 г., Б – максимальный суточный слой стока талых вод при разных расчетных величинах запасов воды в снеге

**Fig. 15.** Calculations based on the snow thaw model (Matveeva, Sidorchuk, 2020) for the Kanku weather station (No. 31102): A – variation of air temperature for the snow thaw period in 1966, Б – maximum daily melt water runoff depth at different given values of water equivalent in snow

**Таблица 8.** Характеристики годового стока древних больших рек  $W_{a\_past}$ , рассчитанные по сетке МОЦАиО ( $F$  – площадь водосбора,  $X_{mean\_a}$  – среднегодовой слой стока)

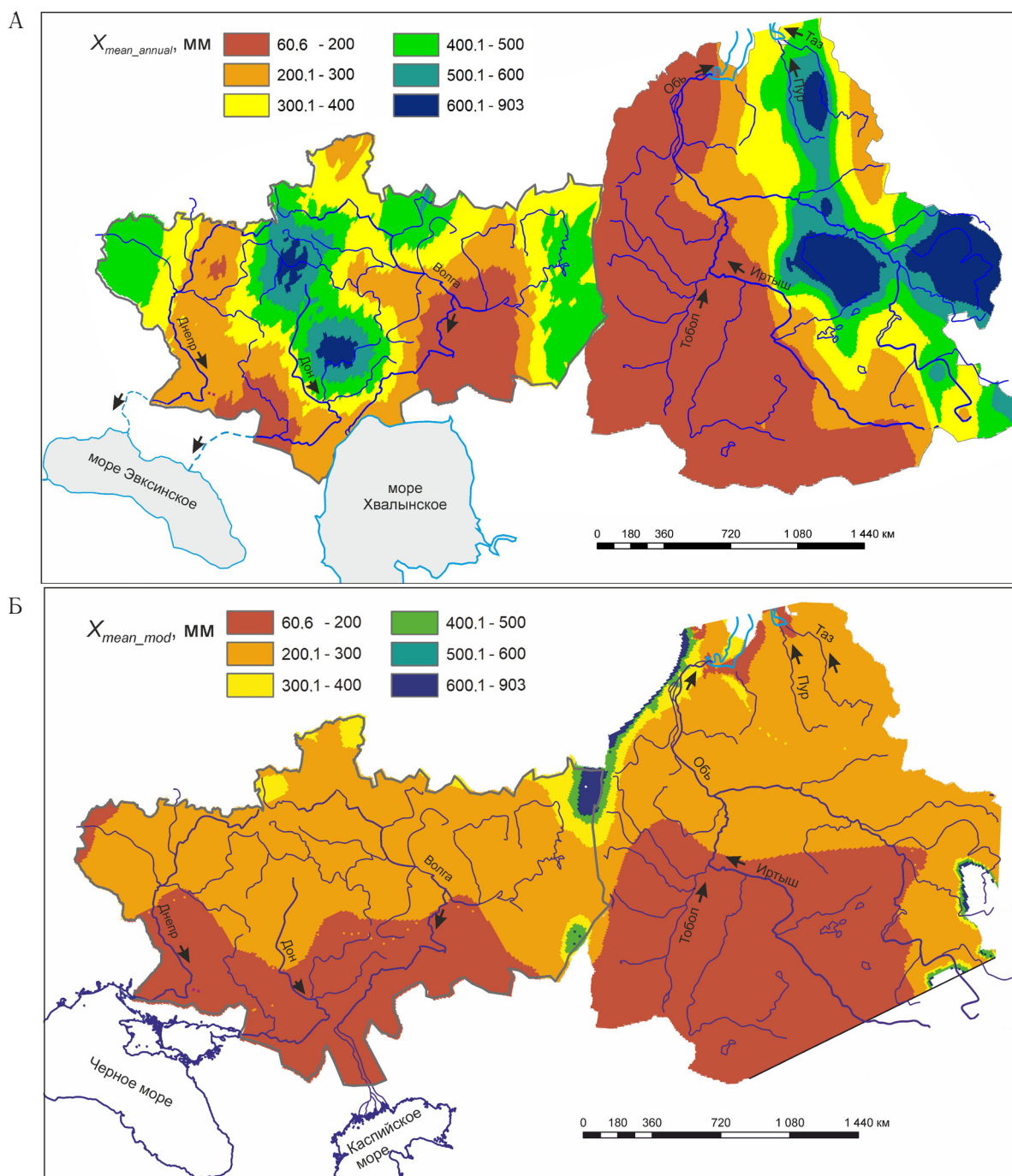
**Table 8.** Annual flow of ancient large rivers  $W_{a\_past}$  by basin, calculated from the Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) grid ( $F$  – catchment area,  $X_{mean\_a}$  – mean annual runoff depth)

Река	$F$ , тыс. км <sup>2</sup>	$W_{a\_mod}$ , км <sup>3</sup>	$X_{mean\_a}$ , мм	$\sigma$ , мм	$C_v$	$W_{a\_past}$ , км <sup>3</sup>	$W_{a\_past} / W_{a\_mod}$
Волга	1360	254	327.2	122.8	0.38	445.0	1.8
Дон	422	29	350.7	145.4	0.41	148.0	5.1
Днепр	504	54	320	80.8	0.25	161.3	3.0
Реки севера Западной Сибири	602	~120	387.1	112.8	0.29	233.0	~2
Обь	2630	345	273.4	198.8	0.73	719.0	2.1

**Пространственное распределение среднегодового слоя стока по площади бассейнов**

Карта среднегодового стока в период формирования древних рек в основных чертах повторяет карту распределения суточного максимального слоя стока: на ней видны те же общие меридиональ-

ные и широтные градиенты, а также орографические эффекты. В Западной Сибири более отчетливо выражена широтная неравномерность стока в древности (большой сток на востоке низменности и малый – на западе) при общем уменьшении стока с севера на юг. По сравнению с современным распределением слоя годового стока по этим террито-



**Рис. 16.** Распределение среднегодового слоя стока для бассейнов рек южного мегасклона ВЕР и ЗСН: А – в период формирования больших рек, 14–18 тыс. л. н., Б – для современных рек

**Fig. 16.** Distribution of the mean annual runoff depth for the river basins of the southern megaslope of the East European Plain and the West Siberian Lowland: A – during the formation of large rivers, 14–18 ka BP, Б – for modern rivers

риям (рис. 16Б), где главной тенденцией является уменьшение стока с севера на юг, в древности это распределение было более разнообразным, с более ярко выраженной широтной дифференциацией и влиянием орографии.

В зависимости от величин параметров, входящих в гидрологическую модель, рассчитанные значения среднегодового слоя и объема стока будут варьировать. Так, если принять коэффициент ставивания равным 5 мм/град, а не 6.5, как принято в

калиброванной модели, то необходимый запас воды в снеге для получения того же максимального слоя стока будет больше примерно на 20%, что приведет к соответствующему увеличению рассчитанных значений в табл. 8. Не меньшее влияние оказывают вариации неравномерности пространственного распределения снежного покрова. Так, если весь снег в период снеготаяния «переместить» в овраги, необходимый запас воды в снеге для получения того же максимального слоя стока будет больше примерно на 30%.

**ОБСУЖДЕНИЕ МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ**

Современные меандрирующие реки являются аналогами больших меандрирующих палеорек. Это доказывается близостью как функций распределения вероятностей, так и средних величин отношения шага излучин к ширине для современных и древних меандрирующих русел. Самоподобие плановых очертаний меандрирующих русел, наличие закономерных изменений формы живого сечения по длине реки, обусловленное определенной гидродинамической структурой потока, делают меандрирующие реки хорошими объектами для применения метода актуализма и позволяют использовать результаты наблюдений на современных реках для восстановления условий формирования древних рек.

**Анализ связи ширины русла и расходов воды**

В рамках метода актуализма главной является гипотеза о том, что для палеогидрологических реконструкций возможно использование морфометрических связей между максимальным расходом воды и шириной русла на уровне руслонаполнения (формулы 4 и 5), полученных для современных рек. Применение морфометрических связей обосновано

в большом количестве работ, главными из которых являются работы Леопольда и Маддока (Leopold, Maddock, 1953) и М.А. Великанова (1958). Простейшие морфометрические связи, введенные в практику расчетов Леопольдом и Маддоком (Leopold, Maddock, 1953), связывают основные гидравлические характеристики потока (скорость  $U$ , ширину  $W$  и глубину  $d$ ) с расходом воды  $Q$  степенными зависимостями, примером которых является зависимость (4).

$$U = a_U Q^{b_U}, \tag{12}$$

$$W = a_W Q^{b_W}, \tag{13}$$

$$d = a_d Q^{b_d}. \tag{14}$$

Система этих зависимостей не замкнута, так как для их замыкания возможно только применить формулу для расчета расхода воды:

$$Q = UWd, \tag{15}$$

и, с определенными оговорками, формулу Шези – Маннинга с учетом уклона  $S$  и коэффициента шероховатости  $n$ :

$$U = \frac{\sqrt{S}}{n} d^{2/3}. \tag{16}$$

Возможности добавления к перечисленным зависимостям дополнительных связей (см., например, (Михайлов и др., 1986)) трудно реализовать при палеогидрологических реконструкциях из-за отсутствия необходимых данных. В результате возникает неопределенность в установлении коэффициента  $a$  и показателя степени  $b$  в формуле (5), которые можно выразить разными способами с помощью формул (12) – (16), например:

$$Q = UWd = a_U Q^{b_U} a_d Q^{b_d} W = (a_U a_d)^{\frac{1}{1-b_U-b_d}} W^{\frac{1}{1-b_U-b_d}} \tag{17}$$

$$Q = UWd = U \frac{d}{W} W^2 = a_U Q^{b_U} \frac{a_d Q^{b_d}}{a_W Q^{b_W}} W^2 = (a_U \frac{a_d}{a_W})^{\frac{1}{1+b_W-b_U-b_d}} W^{\frac{2}{1+b_W-b_U-b_d}} \tag{18}$$

$$Q = UWd = \frac{\sqrt{S}}{n} d^{5/3} W = (a_d Q^{b_d})^{5/3} \frac{\sqrt{S}}{n} W = \left[ (a_d)^{5/3} \frac{\sqrt{S}}{n} \right]^{\frac{3}{3-5b_d}} W^{\frac{3}{3-5b_d}} \tag{19}$$

и тому подобное.

Во всех случаях показатель степени  $b$  в формуле (5) выражается через то или иное сочетание показателей степени в формулах (12) – (14). Эмпирические данные показывают, что для крупных рек эти сочетания приводят к довольно стабильным средним значениям показателя степени  $b$  в формуле (5) в диапазоне 1.28–1.42 с коэффициентами вариации в диапазоне 0.04–0.12. Значение  $b = 1.37$  в формуле (5) соответствует значению показателя степени в формуле (13) для крупных рек  $b_W = 0.72$ , что дополняет ряд значений, полученный в (Nachtergaele et al., 2002) для эрозионных и русловых форм разных размеров:  $b_W = 0.3$  для эрозионных борозд на склонах,  $b_W = 0.4$  для оврагов и  $b_W = 0.5$  для малых рек.

Коэффициент  $a$  в формуле (5) выражается как через сочетание показателей степени в формулах (12) – (14), так и через сочетание коэффициентов в этих формулах, а с учетом формулы Шези – Маннинга зависит также от уклона реки и гидравлических сопротивлений. Эмпирические данные подтверждают эту более сложную структуру коэффициента  $a$  и его пространственную вариабельность как между разными речными бассейнами, так и внутри одного бассейна. В среднем для рек ВЕР коэффициент  $a$  вдвое больше, чем для рек ЗСН в области вечной мерзлоты, т. е. ширина русел в среднем вдвое меньше при одинаковых максимальных расходах воды. Этот эффект, вероятнее всего, связан с большими уклонами рек (как современных, так и древних) южного мегасклона ВЕР по сравнению с реками Западной Сибири, а также с протеканием многих современных рек южного мегасклона ВЕР по широким унаследованным поймам и с уменьшением руслонаполняющих расходов воды по сравнению с реками севера ЗСН с относительно узкими поймами (не считая таких рек, как нижняя Обь, низовья Таза и Пура).

Таким образом, теоретические и эмпирические данные подтверждают относительную стабильность показателя степени  $b$  в формуле (5) для крупных рек и возможность использования единого его значения, полученного для современных рек, для палеогидрологических реконструкций. Теоретический анализ подтверждает эмпирические данные о большой пространственной изменчивости коэффициента  $a$  в формуле (5), поэтому его значения принимаются при палеогидрологических реконструкциях разными для разных речных бассейнов.

Было показано (Сидорчук и др., 2021; Sidorchuk, 2023), что морфометрическая зависимость (5) связывает ширину реки при уровне руслонаполнения именно со среднемаксимальным расходом воды. Для этого был проведен анализ зависимостей (4) и (5) для бассейнов рек с разным гидрологическим режимом, протекающих в самых разных природных

условиях — в современной зоне вечной мерзлоты (р. Лена) и в области экваториальных лесов (р. Амазонка), а также для древних рек, для которых расходы воды были вычислены по уравнениям гидравлики (Сидорчук и др., 2021). Этот анализ показал, что если использовать именно среднемаксимальные расходы воды, то эти зависимости близки (практически одинаковы в пределах доверительного интервала 95%) для самых разных рек, таких как Лена и Амазонка. Если же в зависимостях (4) и (5) использовать средний годовой расход воды, то единой связи не получается (см. рис. 6 и 7 в (Sidorchuk, 2023)). Этот анализ подтверждает, что ширина речного русла является индикатором именно максимальных расходов воды и что при палеогидрологических расчетах по измеренной ширине палеорусел можно непосредственно получить только эти среднемаксимальные расходы.

### ***Анализ связи между расходом на максимуме половодья и площадью водосбора***

Рассмотрим возможность приведения среднемаксимальных расходов воды в палеореках к элементарному водосбору с помощью степенных связей типа (7) – (9). Применение этих связей возможно только исходя из гипотезы, что сток в древних реках формировался при поступлении воды на водосбор за счет атмосферных осадков в твердом или жидком виде. Гипотеза о формировании больших русел за счет стока вод тающего материкового ледника в позднем пленилгациале — позднеледниковье не имеет фактического обоснования и не соответствует имеющимся палеогеографическим данным (Панин и др., 2021).

Связи между расходом воды на максимуме половодья и площадью водосбора давно вошли в арсенал методов гидрологических расчетов, однако вопрос об изменении величины коэффициента редукции в формуле (7) по мере изменения площади водосбора в литературе освещен слабо. В.М. Евстигнеев (1990) отмечает, что для малых водосборов отмечается замедление редукции; в некоторых региональных работах показано отсутствие изменения модуля стока по мере изменения площади водосбора на малых водосборах (Новиков, 2009). Нами принята площадь элементарного водосбора 1000 км<sup>2</sup>: на водосборах большей площади происходит редукция максимальных расходов воды, а на водосборах с меньшей площадью редукция отсутствует, и коэффициент редукции равен нулю. Эмпирические данные по бассейнам современных рек ВЕР показывают, что на многих реках такая схема применима, хотя и не универсальна.

К этому же вопросу примыкает проблема различий в значениях коэффициента редукиции максимальных расходов воды для современных и древних рек в одном и том же бассейне. Как уже отмечалось, для бассейнов Волги и Днепра изменение ширины русла по мере изменения площади водосбора различается для современных и древних рек. Для современных рек показатели степени  $q$  в функциях  $W = pF^q$  составляют 0.47 для бассейнов и Волги, и Днепра, тогда как для древних рек показатели степени  $q$  составляют 0.37 для бассейна Волги и 0.32 для бассейна Днепра. Это означает, что коэффициенты редукиции максимальных расходов воды для древних рек, рассчитанные по формуле (5), примерно на 80% больше, чем для современных. Причины этого явления не вполне ясны и предположительно могут быть связаны с недостаточной развитостью высокой поймы некоторых больших древних рек и с уменьшением соотношения руслонаполняющего и среднегодового расхода воды по длине этих рек.

**Сравнение с обобщенным эмпирическим методом палеогидрологических расчетов**

Палеогидрологические расчеты для рек ВЕР и ЗСН проводились нами и ранее (Сидорчук и др., 2008, 2018). Применялся полностью эмпирический метод, основанный на зависимости между шириной русла при уровне руслонаполнения и средним годовым расходом воды  $Q_{mean}$ :

$$Q_{mean} = 0.012 y^{0.73} W^{1.36}. \tag{20}$$

Здесь

$$y = 100 \frac{Q_{mean}}{Q_{max}} = aF^{0.125}, \tag{21}$$

т. е.

$$Q_{mean} = k_1 F^{0.09} W^{1.136} \tag{22}$$

Зависимость (20) была получена путем обработки данных более чем по 450 гидрологическим станциям в широком диапазоне ландшафтов от тундры до сухих степей (Сидорчук и др., 2008).

Если принять, что

$$\frac{Q_{mean}}{Q_{max}} \approx F^{0.09}, \tag{23}$$

то формула (22) преобразуется в формулу (5), а формула (23) служит переходом от максимального стока к среднегодовому по принципу, заложенному в формулу (10). Таким образом, изложенный выше метод палеогидрологических реконструкций не противоречит эмпирическому подходу, примененному в указанных публикациях, а является

его развитием. Главным отличием обобщенной эмпирической формулы от описанных выше является существенное осреднение коэффициентов и нарушение логичной последовательности расчетов при палеогидрологических реконструкциях. Предлагаемый более явный способ расчета палеогидрологических характеристик эти недостатки прежнего подхода устраняет.

**Анализ результатов проведенных расчетов**

Среднемаксимальные расходы воды в древних реках были рассчитаны на основе морфометрических связей для современных рек и измеренной ширины древних рек; суточный максимальный слой стока  $X_{max\_past}$  был приведен к элементарному водосбору, и построены карты пространственных изменений  $X_{max\_past}$  в бассейнах рек южного мегаеклона ВЕР и ЗСН. Построение такой карты требует достоверности еще одной гипотезы — о синхронности формирования больших меандрирующих палеорусел на этой территории. Эта гипотеза базируется на имеющихся датировках аллювия палеорек, которые не образуют территориальных кластеров с разным возрастом палеорусел. Даты формирования руслового аллювия распределены довольно равномерно, в первую очередь по бассейну Волги, где имеется наибольшее количество датировок (Украинцев и др., 2024). В то же время палеофлористические реконструкции климата ВЕР дают основание для выделения двух главных периодов формирования больших палеорусел: так называемый раунисский интерстадиал с максимумом около 18 тыс. л. н. и переход от древнейшего дриаса к бёллингу около 15 тыс. л. н. (Борисова, 2021; Vanderberghe, Sidorchuk, 2019). Вероятная асинхронность образования больших рек в разных частях рассматриваемой обширной территории является еще одним фактором пространственной неравномерности рассчитанного стока.

Рассчитанная средняя по бассейнам рек величина максимального суточного слоя стока при снеготаянии составляла 50–65 мм/сут, что в 6–10 раз больше соответствующего современного показателя. Современным аналогом таких характеристик стока вод половодья является, например, скованная вечной мерзлотой территория полуострова Ямал, где средний по территории слой максимальной суточной водоотдачи для периода половодья составляет 50–55 мм/сут (Matveeva, Sidorchuk, 2020). Для всех рек севера Западной Сибири отличия от современного соответствующего показателя в среднем составили не 6–10, а 2.3 раза (см. табл. 6). Это объясняется значительными запасами воды в снеге к началу весны, накопленными за длинную

зиму, и малыми потерями стока на испарение и инфильтрацию в криолитозоне.

*Переход от суточного максимального слоя стока к среднегодовому* потребовал формулирования новых гипотез, подлежащих обсуждению.

Во-первых, предполагается, что сток воды за год и сток за период половодья примерно равны. Это предположение основано на реконструкциях растительности равнин Северной Евразии для времени от максимума последнего оледенения до позднеледниковья. В этой растительности (см. рис. 1) обычно присутствуют или даже доминируют степные засухоустойчивые элементы, что говорит о сухом климате. Объяснить засухоустойчивую растительность на водосборах многоводных рек можно предположением о резкой сезонности поступления атмосферных осадков на эти водосборы. Если в условиях перигляциального климата осадки в виде снега поступали на поверхность речных водосборов во время продолжительной зимы, весеннее снеготаяние было непродолжительным и интенсивным, половодье коротким с высоким максимумом, а летом осадков было мало, и в межень сток вод из толщи вечномёрзлых грунтов был незначительным, то утверждения о ксерофильности растительности и многоводности рек не вступают в противоречие. Современными аналогами такой совокупности природных условий являются бассейны практически всех рек области развития вечной мерзлоты, включая такие крупные реки, как Лена. Во время половодья расход воды в Лене у водпоста Кюсюр достигает  $165\,000\text{ м}^3/\text{с}$ , а во время зимней межени уменьшается до  $600\text{--}700\text{ м}^3/\text{с}$ , т. е. русло этой огромной реки становится практически пустым.

Во-вторых, при использовании формулы (10) или (11) для расчета среднегодового расхода воды (или расхода для среднего половодья) предполагается наличие современного гидрологического аналога для бассейна древней реки с устойчивым соотношением  $Y$  среднегодового и среднемаксимального расходов воды, чтобы можно было перенести это соотношение с аналога на древнюю реку. Использование палеофлористического метода показывает, что прямые гидрологические аналоги для древних равнинных рек найти невозможно, поскольку все современные районы-аналоги для палеофлор расположены в горах. Возможности для поиска приблизительного гидрологического аналога на равнине на основе представлений о составе палеорастительности довольно ограничены — в зоне вечной мерзлоты это только Якутская низменность и с меньшей вероятностью также полуостров Ямал и Большеземельская тундра. Как показывает рис. 14, даже при условии, что аналог выбран пра-

вильно, значение  $Y$  для элементарных водосборов варьирует в 1.5 раза, определяя соответствующую ошибку в оценке среднегодового стока.

В-третьих, предполагается, что результаты моделирования климата с помощью МОЦАиО для максимума последнего оледенения адекватно воспроизводят среднемесячные температуры воздуха на период формирования больших древних меандрирующих рек. Это предположение основано на сходстве температурных условий максимума последнего оледенения и конца плейстоцена, реконструированных по палеофлористическим данным (см. табл. 5). Такое предположение дает возможность хотя бы приблизительно найти аналоги палеоклимата в записях современных метеостанций и применить гидрологическую модель снеготаяния для оценки слоя стока половодья в палеореках. Эта процедура приводит к построению карты слоя стока половодья, приравненного к среднегодовому слою стока, и оценке годового объема стока главных рек ВЕР и ЗСН. Варьирование параметров, входящих даже в упрощенную гидрологическую модель, приводит к возможным изменениям значений на этой карте в пределах 20–30%.

Точность палеогидрологических расчетов невелика, так как велика вариабельность параметров, входящих в главные расчетные формулы. Оценки с разбросом значений в 1.5 раза обычны. Палеогидрологические реконструкции можно считать достоверными только для территорий и периодов времени с существенными отличиями размеров палеорусел от современных русел. Это условие соблюдается для бассейнов рек южного мегасклона ВЕР и ЗСН, так как в этих регионах ширина палеорусел в 3–10 раз больше современных при тех же площадях водосборов.

Несмотря на невысокую точность палеогидрологических оценок, не вызывает сомнения существование большого максимального и годового стока рек в конце плейстоцена — начале позднеледникового времени. Это требует существенных уточнений в существующей общепринятой климатической модели постгляциального времени, основанной на реконструкциях растительности, изменения устойчивого мнения об общей сухости климата конца последнего оледенения и об отсутствии атмосферных осадков, достаточных для формирования этого большого речного стока.

*Аномально высокий сток в бассейне Дона.* Показатели максимального и среднегодового стока, реконструированные для бассейна р. Хопер, притока Дона, выглядят как аномалия на картах (рис. 12 и 16), и отношение древнего годового стока к современному в бассейне р. Дон существенно

больше, чем в других бассейнах (см. табл. 6 и 8). Палеоруслу в бассейне р. Хопер хорошо исследованы (Sidorchuk, Vorisova, 2000; Панин и др., 2013; Матлахова, 2021), поэтому нет сомнений в наличии здесь древних русел больших размеров, которые формировались большим стоком воды. Возможно, эти палеоруслу относятся к самому началу врезания русла р. Дон при увеличении стока воды, и поэтому их морфология отличается от морфологии более молодых и глубже врезанных палеорусел.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования палеорек в бассейнах рек южного мегасклона ВЕР и ЗСН позволяют сделать следующие выводы.

1. Морфология меандрирующих рек самоподобна: при изменении масштаба соотношение главных морфологических элементов (ширины русел, шага излучин, формы живого сечения) или не меняется, или меняется закономерным образом. Следовательно, современные меандрирующие русла можно рассматривать как аналоги больших меандрирующих палеорусел и использовать морфометрические зависимости, выведенные для современных рек, для палеогидрологических реконструкций.

2. Рассчитанная по морфометрическим зависимостям средняя по бассейнам рек величина максимального суточного слоя стока при снеготаянии составляла 50–65 мм/сут, что в 6–10 раз больше соответствующего современного показателя (за исключением рек севера Западной Сибири, где это различие составило 2.3 раза). Пространственное распределение максимального слоя стока показывает, что поток влаги на ВЕР шел преимущественно с северо-запада на юго-восток, а на ЗСН — с северо-востока на юго-запад.

3. Очень большие величины слоя максимальной суточной водоотдачи на малых водосборах во время снеготаяния предполагают наличие на равнинах Северной Евразии в конце плейстоцена — начале позднеледниковья значительных запасов воды в снеге к началу весны и дружного весеннего снеготаяния. Расчеты на основании гидрологической и климатической аналогии показали, что в среднем для этой территории площадью 5.52 млн км<sup>2</sup> запасы воды в снеге перед началом снеготаяния составляли 309–390 мм, а объем стока за половодье, принимаемый близким к годовому объему стока, — 1706–2150 км<sup>3</sup>, что в 2.1–2.7 раза больше современного.

4. Реконструкция большого максимального и годового стока рек в конце плейстоцена — начале позднеледниковья требует существенных уточнений в существующей общепринятой климатической

модели постгляциального времени, основанной на реконструкциях растительности, изменения устоявшегося мнения об общей сухости климата конца последнего оледенения и об отсутствии атмосферных осадков, достаточных для формирования большого речного стока.

5. Если принять, что в условиях перигляциального климата существовала резкая сезонность внутригодового распределения осадков, атмосферные осадки в виде снега поступали на поверхность речных водосборов во время продолжительной зимы, весеннее снеготаяние было дружным и интенсивным, половодье коротким с высоким максимумом, а летом осадков было мало и сток вод межени из толщи вечномерзлых грунтов был незначительным, то реконструкции ксерофитной растительности, с одной стороны, и многоводных рек, с другой стороны, не вступают в противоречие.

6. Наличие существенного зимнего поступления осадков в конце плейстоцена — начале позднеледниковья с хорошо выраженным сокращением с запада на восток на Восточно-Европейской равнине и с северо-востока на юго-запад в Западной Сибири требует построения соответствующей модели циркуляции атмосферы, положения климатических фронтов и распределения температуры воздуха и осадков по территории в зимнее время.

## ЛИТЕРАТУРА

Борисова О.К. Ландшафтно-климатические условия в центральной части Восточно-Европейской равнины в последние 22 тысячи лет (реконструкция по палеоботаническим данным) // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 664–675.

DOI: 10.31857/S0321059621060031

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 от 2 июля 2014 г.

Былинский Е.Н., Востоков Е.Н. Главный водораздел Русской равнины, его тектоническая природа и гляциоизостатический механизм формирования // Геоморфология. 1976. № 3. С. 26–37.

Великанов М.А. Русловой процесс. М.: Физматгиздат, 1958. 395 с.

Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Опыт критического анализа. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 312 с.

Волков И.А. О недавнем прошлом рек Ишим и Нура // Труды лаборатории аэрометодов АН СССР. № 9. 1960. С. 59–71.

- Волков И.А. Следы мощного стока в долинах рек юга Западной Сибири // Доклады АН СССР. 1963. Т. 151. № 3. С. 23–25.
- Георгиевский В.Ю. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон. СПб: Изд-во ГГИ, 2020. 262 с.
- Глушков В.Г. Географический и гидрологический метод // Изв. ГГИ. 1933. Т. 57. С. 89–95.
- Гричук В.П. Гляциальные флоры и их классификация // Последний ледниковый покров на северо-западе Европейской части СССР. М.: Наука, 1969. С. 57–70.
- Гричук В.П. Растительность позднего плейстоцена // Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет. Атлас-монография / А.А. Величко (отв. ред.). М.: ГЕОС, 2002. С. 64–89.
- Докучаев В.В. Способы образования речных долин Европейской России. СПб: Типография В. Дермакова, 1878. 221 с.
- Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.
- Зольников И.Д., Филатов Е.А., Шпанский А.В. и др. Геологические свидетельства суперпаводков в Верхнем Приобье // Геоморфология и палеогеография. 2024. Т. 55. № 4. С. 13–25.  
DOI: 10.31857/S2949178924040023
- Зыкина В.С., Волков И.А., Дергачева М.И. Верхнечетвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. М.: Наука, 1981. 203 с.
- Комаров В.Д. Весенний сток равнинных рек европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. М.: Гидрометеиздат, 1959. 296 с.
- Маккавеев Н.И. (ред.) Проектирование судовых ходов на свободных реках. М.: Транспорт, 1964. 263 с.
- Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
- Маккавеев Н.И., Советов В.С. Трассирование землечерпательных прорезей на перекатах равнинных рек Европейской части СССР // Труды ЦНИИРФ. 1940. Вып. 3. 60 с.
- Маккавеев Н.И., Хмелева Н.В., Гун Го-юань. Свободные меандры // Экспериментальная геоморфология. Вып. 2 / Н.И. Маккавеев (ред.). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. С. 25–62.
- Матлахова Е.Ю. Макроизлучины р. Вороны как свидетельства мощного речного стока в позднеледниковье // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2021. № 2. С. 103–109.
- Михайлов В.Н., Рогов М.М., Чистяков А.А. Речные дельты. Гидролого-морфологические процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 279 с.
- Национальный атлас России: в 4 т. Т. 2. Природа. Экология. М.: Роскартография, 2007. 495 с.
- Неваленный Ю.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Изд. 2-е. Серия Донецкая. Лист L-37-V (г. Шахты). Объяснительная записка. М., 2000. 183 с.
- Новиков С.М. (ред.) Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. СПб: ВВМ, 2009. 536 с.
- Обедиентова Г.В. Эрозионные циклы и формирование долины Волги. М.: Наука, 1977. 240 с.
- Панин А.В., Сидорчук А.Ю. Макроизлучины («большие меандры»): проблемы происхождения и интерпретации // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2006. № 6. С. 14–22.
- Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Баслеров С.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Шеремецкая Е.Д. Основные этапы истории речных долин центра Русской равнины в позднем Валдае и голоцене: результаты исследований в среднем течении р. Сейм // Геоморфология. 2001. № 2. С. 19–34.
- Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Власов М.В. Мощный поздневалдайский речной сток в бассейне Дона // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 1. С. 118–129.
- Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю. Вклад талых ледниковых вод в формирование стока Волги в последнюю ледниковую эпоху // Водные ресурсы. 2021. Т. 48, № 6. С. 656–663.
- Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. Т. 19. № 4. С. 93–97.
- Ромашин В.В. Типы руслового процесса в связи с определяющими факторами // Труды ГГИ. Вып. 155. Л.: Гидрометеиздат, 1968. С. 56–63.
- Сидорчук А.Ю. Унаследованные поймы и седиментационный режим в пойменно-русловых комплексах // Геоморфология. 2014. № 3. С. 112–120.
- Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. Палеогидрология рек бассейна реки Дон // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Т. 5. № 2. С. 172–190.
- Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. Поздневалдайские палеоруслы рек Русской равнины // Известия РАН. Серия географическая. 2000. № 6. С. 73–78.
- Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Климатически обусловленные изменения речного стока на равнинах северной Евразии в позднеледниковье и голоцене // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 4. С. 406–416. DOI: 10.31857/S0321059621060171
- Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Речной сток на Восточно-Европейской равнине

- за последние 20 тысяч лет и проблема изменения уровней южных морей // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. М.: Издательский дом «Кодекс», 2018. С. 144–168.
- Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю., Панин А.В. Оценка годового стока Волги в позднеледниковье по данным о размерах палеорусел // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 643–655.  
DOI: 10.31857/s0321059621060171
- Украинцев В.Ю. Поздневалдайские палеоруслы рек бассейна Волги: условия формирования, возраст, палеогеографическое значение: дис. ... канд. геогр. наук по специальности 1.6.14 – Геоморфология и палеогеография. 2023.
- Украинцев В.Ю., Зазовская Э.П., Захаров А.Л., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. О времени проявления эпохи обильного речного стока в бассейне Волги // Водные ресурсы. 2024. Т. 51. № 3. С. 235–243.
- Физико-географический атлас мира. М.: Институт географии АН СССР и ГУГК, 1964. 300 с.
- Хруцкий С.В., Смольянинов В.М., Косцова Э.В. Альбом геологических разрезов центрально-черноземных областей. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1974. 176 с.
- Чалов Р.С. О классификации речных русел // Геоморфология. 1980. № 1. С. 3–16.
- Blom A., Arkesteijn L., Chavarrias Borrás V., Viparelli E. The equilibrium alluvial river under variable flow and its channel-forming discharge // Journal of Geophysical Research. Earth Surface. 2017. Vol. 122. P. 1924–1948. DOI: 10.1002/2017JF004213.
- Borisova O.K., Sidorchuk A.Yu., Panin A.V. Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data // Catena 2006. Vol. 66. P. 53–78.
- Borsy Z., Felegyhazi E. Evolution of the network of water courses in the northeastern part of the Great Hungarian Plain from the end of the Pleistocene to our days // Quaternary Studies in Poland. 1983. Vol. 4. P. 115–124.
- Dury G.H. Contribution to a general theory of meandering valleys // American Journal of Science. 1954. Vol. 252. P. 193–224.
- Dury G.H. Principles of underfit streams // US Geological Survey Professional Paper 452-A. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1964. 67 p.  
DOI: 0.3133/pp452A
- Dury G.H. Theoretical implications of underfit streams // US Geological Survey Professional Paper 452-C. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1965. 43 p. DOI: 10.3133/pp452C
- Gábris G., Nádor A. Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis // Quaternary Science Reviews. 2007. Vol. 26. P. 2758–2782.
- Gelfan A., Panin A., Kalugin A., Morozova P., Semenov V., Sidorchuk A., Ukraintsev V., Ushakov K. Hydroclimatic processes as the primary drivers of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea: new developments // Hydrology and Earth System Science. 2024. Vol. 28. P. 241–259.
- Gutiérrez J.M., Jones R.G., Narisma G.T., Alves L.M., Amjad M., Gorodetskaya I.V., Grose M., Klutse N.A.B., Krakovska S., Li J., Martínez-Castro D., Mearns L.O., Mernild S.H., Ngo-Duc T., van den Hurk B., Yoon J.-H. Atlas // Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / V. Masson-Delmotte, P. Zhai et al. (Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. P. 1927–2058.  
DOI: 10.1017/9781009157896.021.
- Howard A.J., Macklin M.G., Bailey D.W., Mills S., Andreescu R. Late-glacial and Holocene river development in the Teleorman Valley on the southern Romanian Plain // Journal of Quaternary Science. 2004. Vol. 19. P. 271–280.
- Inglis C.C. Meanders and their bearing on river training // Institution of Civil Engineers. Maritime and Waterways engineering Division. 1947. Vol. 7. P. 3–54.
- Kapsch M.-L., Mikolajewicz U., Ziemen F., Schanwell C. Ocean response in transient simulations of the last deglaciation dominated by underlying ice-sheet reconstruction and method of meltwater distribution // Geophysical Research Letters. 2022. Vol. 49, e2021GL096767. DOI: 10.1029/2021GL096767
- Kozarski S., Rotnicki K. Valley floors and changes of river channel patterns in the north Polish Plain during the Late-Würm and Holocene // Quaestiones Geographicae. 1977. Vol. 4. P. 51–93.
- Kremenetski C.V., Böttger T., Junge F.W., Tarasov A.G. Late- and postglacial environment of the Buzuluk area, middle Volga region, Russia // Quaternary Science Reviews. 1999. Vol. 18. P. 1185–1203.
- Leopold L.B., Maddock T. The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications // US Geological Survey Professional Paper. Washington, DC, USA: United States Government Printing Office. 1953. Vol. 252. 57 p.
- Leopold L.B., Wolman M.G. River Meanders // Bulletin of the Geological Society of America. 1960. Vol. 71. P. 769–794.
- Matoshko A., Gozhik P., Ivchenko A.S. The fluvial archive of the Middle and Lower Dnieper (a review) // Netherlands Journal of Geosciences. 2002. Vol. 81. P. 339–355. DOI: 10.1017/S0016774600022642

Matveeva T., Sidorchuk A. Modelling of Surface Runoff on the Yamal Peninsula, Russia, Using ERA5 Reanalysis // *Water*. 2020. Vol. 12. Paper 2099.

DOI: 10.3390/W12082099

Nachtergaele J., Poesen J., Sidorchuk A., Torri D. Prediction of concentrated flow width in ephemeral gully channels // *Hydrological Processes*. 2002. Vol. 16(10). P. 1935–1953. DOI: 10.1002/HYP.392

Page K.J., Nanson G.C., Price D.M. Chronology of Murrumbidgee River palaeochannels on the Riverine Plain, southeastern Australia // *Journal of Quaternary Science*. 1996. Vol. 11. P. 311–326.

Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V. Historical background to floodplain morphology: examples from the East European Plain // *Floodplains: interdisciplinary approaches*. London Geological Society Special Publications. 1999. Vol. 163. P. 217–229.

Popov D., Marković S.B., Štrbac D. Generations of meanders in Serbian part of Tisa valley // *Journal of the Geographical Institute «Jovan Cvijic», SASA*. 2008. Iss. 58. P. 29–41. DOI: 10.2298/IJGI0858029P

Reimer P., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 kcal BP) // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62 (4). P. 725–757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41

Romashin V.V. Types of channel process in connection with determining factors // *Proceedings of the State Hydrometeorological Institute*. Iss. 155. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968. P. 56–63.

Rotnicki K. Retrodiction of palaeodischarges of meandering and sinuous rivers and its palaeoclimatic implications // *Temperate palaeohydrology*. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1991. P. 431–470.

Schumm S.A. Quaternary Paleohydrology // *The Quaternary of the United States* / Wright H.E., Jr., Frey D.G. (Eds.). Princeton, NY, USA: Princeton University Press, 1965. P. 783–794.

Schumm S.A. River adjustment to altered hydrologic regimen – Murrumbidgee River and paleochannels // *US Geological Survey Professional Paper 598*. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1968. 65 p. DOI: 10.3133/pp598

Sidorchuk A.Yu. Floodplain sedimentation: inherited memories // *Global and Planetary Change*. 2003. Vol. 39. No. 1–2. P. 13–29.

Sidorchuk A. The large rivers of the past in West Siberia: Unknown hydrological regimen // *Water*. 2023. Vol. 15, no. 2. P. 258. DOI: 10.3390/w15020258

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K. Method of paleogeographical analogues in paleohydrological reconstructions // *Quaternary International*. 2000. Vol. 72 (1). P. 95–106.

Sidorchuk A.Y., Panin A.V., Borisova O.K. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // *Geomorphology*. 2009. Vol. 113. P. 137–157.

Sidorchuk A.Yu., Panin A., Borisova O. Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time // *Geology and Geoarchaeology of the Black Sea Region: Beyond the Flood Hypothesis* / I. Buynevich, V. Yanko-Hombach, A.S. Gilbert, R.E. Martin (Eds.). Geological Society of America Special Paper 473. 2011. P. 1–25.

Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K., Kovalyukh N.N. Lateglacial and Holocene palaeohydrology of the lower Vychegda river, western Russia // *River Basin Sediment Systems: Archives of Environmental Change* / D. Maddy, M.G. Macklin, J.C. Woodward (Eds.). A.A. Balkema Publ., 2001. P. 265–295.

Starkel L. The place of the Vistula River valley in the late Vistulian – early Holocene evolution of the European valleys // *European river activity and climatic change during the Lateglacial and early Holocene*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995. P. 75–88.

Starkel L., Kalicki T., Soja R., Gębica P. Analysis of paleochannels in the valleys of the upper Vistula and the Wisłoka // *Evolution of the Vistula River valley during the last 15000 years. Part VI*. Wrocław: Wydawnictwo Continuo, 1996. P. 30–35.

Vandenbergh J., Sidorchuk A. Large palaeomeanders in Europe: Distribution, formation process, age, environments and significance // *Palaeohydrology. Geography of the physical environment*. Cham, Switzerland: Springer, 2019. P. 169–186.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены в рамках государственной темы (ГЗ) № 121051100166-4 «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем» и в рамках темы Государственного задания Института географии РАН № FMGE-2019-0005. Авторы статьи благодарны двум рецензентам за подробный анализ содержания статьи и ценные замечания, которые позволили улучшить текст.

## ОБ АВТОРАХ

Сидорчук Алексей Юрьевич, д.г.н., в.н.с., географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, fluvial05@gmail.com

Борисова Ольга Кимовна, д.г.н., гл.н.с., Институт географии РАН, borisova@igras.ru

Панин Андрей Валерьевич, член-корр. РАН, д.г.н., заместитель директора, Институт географии РАН, a.v.panin@igras.ru

## MORPHOLOGY OF RIVER CHANNELS AND WATER REGIME OF LARGE RIVERS OF THE PLAINS OF NORTHERN EURASIA 14–18 THOUSANDS YEARS AGO

A.Yu. Sidorchuk<sup>1\*</sup>, O.K. Borisova<sup>2</sup>, A.V. Panin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography*

<sup>2</sup>*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

\**fluvial05@gmail.com*

**Abstract.** At the end of the Pleniglacial to the first half of the Late Glacial, approximately 14,000–18,000 years ago, river channels on the plains of Northern Eurasia were up to 10–15 times larger than modern river channels in the same basins. Fragments of these large meandering paleochannels are widespread on river floodplains and low terraces. The hydrological regime of these rivers is of great interest from a paleoclimatological perspective. Morphometric characteristics of large paleochannels – channel width and meander wavelength – were measured on topographic maps and satellite images. Morphometric relationships between modern channel widths and average maximum water discharges were established. These relationships were used to reconstruct maximum discharges during floods for rivers in the Dnieper, Don, and Volga basins and the rivers in Western Siberia. The daily runoff depth at the flood maximum, which corresponds to the maximum depth of daily snowmelt during the snowmelt period, is normalized to unit river basins with an area of <1000 km<sup>2</sup>. The average value for the southern megaslope of the East European Plain was 50 mm/day (six times the modern value), including 50.6 mm/day (six times) for the Volga River basin, 50.7 mm/day (seven times) for the Don River basin, and 48 mm/day (10 times the modern value) for the Dnieper River basin. For the rivers of the north of the West Siberian Lowland, the average maximum daily runoff depth was 64 mm (2.5 times the modern value) and 54 mm in the Ob River basin (8 times the modern value). A paleohydrological analogy was used to convert these maximum runoff values into annual averages. The territories with the modern analogues for the climatic conditions of the late Pleniglacial – Lateglacial were determined on the basis of the paleofloristic method and according to data from mathematical climate modelling. Calculations revealed that on the southern megaslope of the East European Plain and on the West Siberian Lowland, over an area of 5.52 million km<sup>2</sup>, average snow water reserves before snowmelt were 309–390 mm, while flood runoff from this area, assumed to be close to the annual runoff volume, was 1706–2150 km<sup>3</sup>, which is 2.1–2.7 times greater than the modern value. These results contradict the established notion, based on the xerophilous vegetation, that the periglacial climate on the plains of Northern Eurasia was generally dry. The results of paleohydrological reconstructions showed that under the conditions of a periglacial climate, there was a sharp seasonality in the intra-annual distribution of precipitation; atmospheric precipitation in the form of snow covered the surface of river catchments during a long winter; spring snowmelt was short-lived and intense; floods were short with a high maximum. In summer, there was little precipitation and runoff from permafrost-covered areas was insignificant, which contributed to the development of xerophilous vegetation.

**Keywords:** large meandering rivers; late Pleniglacial; Lateglacial; morphometric relationships; paleogeographic analogy; models of atmospheric and oceanic circulation; maximum daily runoff depth; average annual river runoff

### REFERENCES

- Blom A., Arkesteijn L., Chavarrias Borrás V., Viparelli E. The equilibrium alluvial river under variable flow and its channel-forming discharge // *Journal of Geophysical Research. Earth Surface*. 2017. Vol. 122. P. 1924–1948. DOI: 10.1002/2017JF004213.
- Borisova O.K. Landscape and climatic conditions in the central part of the East European Plain over the last 22,000 years (Reconstruction Based on Paleobotanical Data) // *Water Resources*. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 886–896. DOI: 10.1134/S0097807821060038
- Borisova O.K., Sidorchuk A.Yu., Panin A.V. Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data // *Catena*. 2006. Vol. 66. P. 53–78.
- Borsy Z., Felegyhazi E. Evolution of the network of water courses in the northeastern part of the Great Hungarian Plain from the end of the Pleistocene to our days // *Quaternary Studies in Poland*. 1983. Vol. 4. P. 115–124.
- Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. Description of the data array of daily air temperature and precipitation amount at meteorological stations in Russia and the Former USSR (TTTR). Certificate of state registration of the database No. 2014620942 dated July 2, 2014. (In Russ.)
- Bylinsky E.N., Vostokov E.N. The main watershed of the Russian Plain, its tectonic nature and glaciostatic mechanism of formation // *Geomorfologiya*. 1976. No. 3. P. 26–37. (In Russ.)

- Chalov R.S. On the classification of river channels // *Geomorfologiya*. 1980. No. 1. P. 3–16. (In Russ.)
- Dokuchaev V.V. Methods of formation of river valleys in European Russia. St. Petersburg: V. Dermakov Printing House, 1878. 221 p. (In Russ.)
- Dury G.H. Contribution to a general theory of meandering valleys // *American Journal of Science*. 1954. Vol. 252. P. 193–224.
- Dury G.H. Principles of underfit streams // *US Geological Survey Professional Paper 452-A*. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1964. 67 p. DOI: 0.3133/pp452A
- Dury G.H. Theoretical implications of underfit streams // *US Geological Survey Professional Paper 452-C*. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1965. 43 p. DOI: 10.3133/pp452C
- Evstigneev V.M. River runoff and hydrological calculations. Moscow: Moscow State University Press, 1990. 304 p. (In Russ.)
- Gábris G., Nádor A. Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis // *Quaternary Science Reviews*. 2007. Vol. 26. P. 2758–2782.
- Gelfan A., Panin A., Kalugin A., Morozova P., Semenov V., Sidorchuk A., Ukraintsev V., Ushakov K. Hydroclimatic processes as the primary drivers of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea: new developments // *Hydrology and Earth System Science*. 2024. Vol. 28. P. 241–259.
- Georgievskiy V.Yu. Main hydrological characteristics of water bodies of the Don River basin. St. Petersburg: GGI Publishing House, 2020. 262 p. (In Russ.)
- Glushkov V.G. Geographical and Hydrological Method // *Izvestiya GGI*. 1933. Vol. 57. P. 89–95. (In Russ.)
- Grichuk V.P. Glacial floras and their classification // *The Last Glacial Cover in the North-West of the European Part of the USSR*. Moscow: Nauka, 1969. P. 57–70. (In Russ.)
- Grichuk V.P. Late Pleistocene vegetation // *Dynamics of landscape components and inland marine basins of Northern Eurasia over the last 130,000 years* / A.A. Velichko (Ed.). Moscow: GEOS, 2002. P. 64–89. (In Russ.)
- Gutiérrez J.M., Jones R.G., Narisma G.T., Alves L.M., Amjad M., Gorodetskaya I.V., Grose M., Klutse N.A.B., Krakovska S., Li J., Martínez-Castro D., Mearns L.O., Mernild S.H., Ngo-Duc T., van den Hurk B., Yoon J.-H. Atlas // *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / V. Masson-Delmotte, P. Zhai et al. (Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. P. 1927–2058. DOI: 10.1017/9781009157896.021.
- Howard A.J., Macklin M.G., Bailey D.W., Mills S., Andreescu R. Late-glacial and Holocene river development in the Teleorman Valley on the southern Romanian Plain // *Journal of Quaternary Science*. 2004. Vol. 19. P. 271–280.
- Inglis C.C. Meanders and their bearing on river training // *Institution of Civil Engineers. Maritime and Waterways engineering Division*. 1947. Vol. 7. P. 3–54.
- Kapsch M.-L., Mikolajewicz U., Ziemann F., Schanwell C. Ocean response in transient simulations of the last deglaciation dominated by underlying ice-sheet reconstruction and method of meltwater distribution // *Geophysical Research Letters*. 2022. Vol. 49, e2021GL096767. DOI: 10.1029/2021GL096767
- Khrutsky S.V., Smolyaninov V.M., Kostsova E.V. Album of geological sections of the central black earth regions. Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 1974. 176 p. (In Russ.)
- Komarov V.D. Spring runoff of lowland rivers in the European part of the USSR, conditions of its formation and forecast methods. Moscow: Gidrometeoizdat, 1959. 296 p. (In Russ.)
- Kozarski S., Rotnicki K. Valley floors and changes of river channel patterns in the north Polish Plain during the Late-Würm and Holocene // *Questiones Geographicae*. 1977. Vol. 4. P. 51–93.
- Kremenetski C.V., Boettger T., Junge F.W., Tarasov A.G. Late- and postglacial environment of the Buzuluk area, middle Volga region, Russia // *Quaternary Science Reviews*. 1999. Vol. 18. P. 1185–1203.
- Leopold L.B., Maddock T. The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications // *US Geological Survey Professional Paper*. Washington, DC, USA: United States Government Printing Office. 1953. Vol. 252. 57 p.
- Leopold L.B., Wolman M.G. River Meanders // *Bulletin of the Geological Society of America*. 1960. Vol. 71. P. 769–794.
- Makkaveev N.I. (Ed.) Design of the navigation routes on free rivers, Moscow: Transport, 1964. 263 p. (In Russ.)
- Makkaveev N.I. River channel and erosion in its basin. Moscow: USSR Academy of Sciences Press, 1955. 346 p. (In Russ.)
- Makkaveev N.I., Khmeleva N.V., Gong Guo-yuan. Free Meanders // *Experimental Geomorphology. Issue 2* / N.I. Makkaveev (Ed.) Moscow: Moscow University Press, 1969. P. 25–62. (In Russ.)
- Makkaveev N.I., Sovetov V.S. Tracing Dredging Cuts on Riffles of Lowland Rivers in the European USSR // *Proceedings of the Central Research Institute of the Russian Federation*. 1940. Issue 3. 60 p. (In Russ.)

- Matlakhova E.Yu. Macrobends of the Vorona River as Evidence of Powerful River Runoff in the Late Glacial // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2021. No. 2. P. 103–109. (In Russ.)
- Matoshko A., Gozhik P., Ivchenko A.S. The fluvial archive of the Middle and Lower Dnieper (a review) // *Netherlands Journal of Geosciences*. 2002. Vol. 81. P. 339–355. DOI: 10.1017/S0016774600022642
- Matveeva T., Sidorchuk A. Modelling of Surface Runoff on the Yamal Peninsula, Russia, Using ERA5 Reanalysis // *Water*. 2020. Vol. 12. Paper 2099. DOI: 10.3390/w12082099
- Mikhailov V.N., Rogov M.M., Chistyakov A.A. River Deltas. Hydrological and Morphological Processes. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 279 p. (In Russ.)
- Nachtergaele J., Poesen J., Sidorchuk A., Torri D. Prediction of concentrated flow width in ephemeral gully channels // *Hydrological Processes*. 2002. Vol. 16(10). P. 1935–1953. DOI: 10.1002/HYP.392
- National Atlas of Russia: in 4 volumes. Vol. 2. Nature. Ecology. Moscow: Roskartografiya, 2007. 495 p. (In Russ.)
- Nevalenny Yu.V. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. 2nd ed. Donetsk Series. Sheet L-37-V (Shakhty). Explanatory Note. Moscow, 2000. 183 p. (In Russ.)
- Novikov S.M. (Ed.) Hydrology of wetlands of the permafrost zone of Western Siberia. St. Petersburg: VVM, 2009. 536 p. (In Russ.)
- Obedientova G.V. Erosion cycles and formation of the Volga valley. Moscow: Nauka, 1977. 240 p. (In Russ.)
- Page K.J., Nanson G.C., Price D.M. Chronology of Murrumbidgee River palaeochannels on the Riverine Plain, southeastern Australia // *Journal of Quaternary Science*. 1996. Vol. 11. P. 311–326.
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu. Macrobends («large meanders»): problems of origin and interpretation // *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2006. No. 6. P. 14–22. (In Russ.)
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Baslerov S.V., Borisova O.K., Kovalyukh N.N., Sheremetskaya E.D. Main stages in the history of river valleys in the central Russian Plain in the late Valdai and Holocene: results of studies in the middle reaches of the Seim River // *Geomorfologiya*. 2001. No. 2. P. 19–34. (In Russ.)
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V. Historical background to floodplain morphology: examples from the East European Plain // *Floodplains: interdisciplinary approaches*. London Geological Society Special Publications. 1999. Vol. 163. P. 217–229.
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V. Macrobends of the ETS rivers and problems of paleohydrological reconstructions // *Water Resources*. 1992. No. 4. P. 93–97.
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Ukraintsev V.Yu. The contribution of glacial melt water to runoff of river Volga in the last glacial epoch // *Water resources*. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 877–885. DOI: 10.1134/s0097807821060142
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Vlasov M.V. Powerful late Valdai river runoff in the Don basin // *Izvestiya RAN. Geographical Series*. 2013. No. 1. P. 118–129. (In Russ.)
- Physical-Geographical Atlas of the World. Moscow: Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences and GUGK, 1964. 300 p. (In Russ.)
- Popov D., Marković S.B., Štrbac D. Generations of meanders in Serbian part of Tisa valley // *Journal of the Geographical Institute «Jovan Cvijic», SASA*. 2008. Iss. 58. P. 29–41. DOI: 10.2298/IJGI0858029P
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 kcal BP) // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62 (4). P. 725–757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41
- Romashin V.V. Types of channel process in connection with determining factors // *Proceedings of the State Hydrometeorological Institute*. Iss. 155. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968. P. 56–63. (In Russ.)
- Rotnicki K. Retrodiction of palaeodischarges of meandering and sinuous rivers and its palaeoclimatic implications // *Temperate palaeohydrology*. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1991. P. 431–470.
- Schumm S.A. Quaternary Paleohydrology // *The Quaternary of the United States / Wright H.E., Jr., Frey D.G. (Eds.)*. Princeton, NY, USA: Princeton University Press, 1965. P. 783–794.
- Schumm S.A. River adjustment to altered hydrologic regimen – Murrumbidgee River and paleochannels // *US Geological Survey Professional Paper 598*. Washington, DC, USA: U.S. Government Printing Office, 1968. 65 p. DOI: 10.3133/pp598
- Sidorchuk A. The large rivers of the past in West Siberia: Unknown hydrological regimen // *Water*. 2023. Vol. 15, no. 2. P. 258. DOI: 10.3390/w15020258
- Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K. Climate-induced changes in surface runoff on the plains of North-Eurasian plains in the late glacial and Holocene // *Water Resources*. 2008. Vol. 35. P. 386–396. DOI: 10.1134/S0097807808040027
- Sidorchuk A.Y., Panin A.V., Borisova O.K. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // *Geomorphology*. 2009. Vol. 113. P. 137–157.
- Sidorchuk A.Yu. Floodplain sedimentation: inherited memories // *Global and Planetary Change*. 2003. Vol. 39. No. 1–2. P. 13–29.
- Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K. Method of paleogeographical analogues in paleohydrological recon-

structions // *Quaternary International*. 2000. Vol. 72 (1). P. 95–106.

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., Panin A.V. Late Valdai paleochannels of the rivers of the Russian Plain // *Izvestiya RAN. Geographical Series*. 2000. No. 6. P. 73–78. (In Russ.)

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., Panin A.V. Paleohydrology of rivers in the Don River basin // *Hydrosphere. Hazard Processes and Phenomena*. 2023. Vol. 5. No. 2. P. 172–190. (In Russ.)

Sidorchuk A.Yu., Panin A., Borisova O. Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time // *Geology and Geoarchaeology of the Black Sea Region: Beyond the Flood Hypothesis* / I. Buynevich, V. Yanko-Hombach, A.S. Gilbert, R.E. Martin (Eds.). Geological Society of America Special Paper 473. 2011. P. 1–25.

Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K. River runoff on the East European Plain over the past 20 thousand years and the problem of changing levels of the southern seas // *Voprosy geografii*. Iss. 145. Hydrological changes. Moscow: Publishing House «Kodeks», 2018. P. 144–168. (In Russ.)

Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K., Kovalyukh N.N. Lateglacial and Holocene palaeohydrology of the lower Vychehda river, western Russia // *River Basin Sediment Systems: Archives of Environmental Change* / D. Maddy, M.G. Macklin, J.C. Woodward (Eds.). A.A. Balkema Publ., 2001. P. 265–295.

Sidorchuk A.Yu., Ukraintsev V.Yu., Panin A.V. Estimating annual Volga runoff in the Late Glacial epoch from the size of river paleochannels // *Water resources*. 2021. Vol. 48. P. 864–876.

DOI: 10.1134/S0097807821060178

Starkel L. The place of the Vistula River valley in the late Vistulian – early Holocene evolution of the European valleys // *European river activity and climatic change during the Lateglacial and early Holocene*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995. P. 75–88.

Starkel L., Kalicki T., Soja R., Gębica P. Analysis of paleochannels in the valleys of the upper Vistula and the Wisloka // *Evolution of the Vistula River valley during the last 15000 years*. Part. VI. Wrocław: Wydawnictwo Continuo, 1996. P. 30–35.

Ukraintsev V.Yu. Late Valdai paleochannels of the rivers in the Volga basin: conditions of formation, age, paleogeographic significance. Candidate of Science dissertation in specialty 1.6.14 - Geomorphology and Paleogeography (Geographical Sciences). 2023 (In Russ.)

Ukraintsev V.Yu., Zazovskaya E.P., Zakharov A.L., Maksimov F.E., Petrov A.Yu. On the timing of the epoch of abundant river flow in the Volga basin // *Water resources*. 2024. Vol. 51. No. 3. P. 163–170.

DOI: 10.1134/S0097807824700714

Vandenbergh J., Sidorchuk A. Large palaeomeanders in Europe: Distribution, formation process, age, environments and significance // *Palaeohydrology. Geography of the physical environment*. Cham, Switzerland: Springer, 2019. P. 169–186.

Velikanov M.A. Channel process. Moscow: Fizmatgiz, 1958. 395 p. (In Russ.)

Vinogradov Yu.B. Mathematical modelling of runoff formation processes. An experience of critical analysis. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 312 p. (In Russ.)

Volkov I.A. On the recent past of the Ishim and Nura rivers // *Transactions of the Aerospace Methods Laboratory of the USSR Academy of Sciences*. 1960. No. 9. P. 59–71. (In Russ.)

Volkov I.A. Traces of powerful runoff in the river valleys of the south of Western Siberia // *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1963. Vol. 151. No. 3. P. 23–25. (In Russ.)

Zolnikov I.D., Filatov E.A., Shpansky A.V., Glushkova N.V., Danilov D.A., Bordyugova E.A. Geological evidence of Megafloods in the upper Ob region // *Geomorfologiya i paleogeografiya*. 2024. Vol. 55. No. 4. P. 13–25. DOI: 10.31857/S2949178924040023 (In Russ.)

Zykina V.S., Volkov I.A., Dergacheva M.I. Upper Quaternary deposits and fossil soils of the Novosibirsk Ob region. Moscow: Nauka, 1981. 203 p. (In Russ.)

## ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out within the framework of the State Assignment No. 121051100166-4 “Hydrology, morphodynamics and geocology of erosion-channel systems” and within the framework of the State Assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences No. FMGE-2019-0005. The authors of the article are grateful to two reviewers for a detailed analysis of the article’s content and valuable comments that allowed us to improve the text.

## ABOUT THE AUTHORS

Alexey Yuryevich Sidorchuk, Doctor of Geographical Sciences, Principal Scientist, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, fluvial05@gmail.com

Olga Kimovna Borisova, Doctor of Geographical Sciences, Principal Scientist, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, borisova@igras.ru

Panin Andrey Valerievich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Deputy Director, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, a.v.panin@igras.ru

УДК 631.6.02:631.92

## ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК ТАЛЫХ И ЛИВНЕВЫХ ВОД С ТЕРРИТОРИИ СКЛОНОВЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Э.А. Гаевая

*Федеральный Ростовский аграрный научный центр,  
Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, Россия  
emmaksay@inbox.ru*

Поступила в редакцию 18.11.2025

После доработки 14.12.2025

Принята к публикации 15.01.2026

**Аннотация.** Эрозия почвы является одним из главных факторов деградации черноземов, нанося наибольший вред сельскохозяйственным угодьям. Особенно возросла нагрузка на почву в последние десятилетия в связи с интенсификацией земледелия, увеличением урожая и сокращением возврата в почву питательных веществ, повлекших изменение физических свойств черноземов. Целью данной статьи явилось изучение проявления интенсивности стока талых и ливневых вод в севооборотах различной конструкции на территории склоновых агрочерноземов в условиях меняющегося климата. Полевые исследования проводили в Аксайском районе Ростовской области в длительном полевом эксперименте по изучению севооборотов и приемов обработки почвы в 1990–2024 гг. Опытный участок расположен на эрозионно опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3.5–4°, организация территории склона контурно-ландшафтная. Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднесмытым среднесильным малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидном суглинке. В результате меняющегося климата в последние десятилетия отмечено изменение процессов стокообразования. Изменение климата проявляется в увеличении среднесуточной температуры воздуха и уменьшении суммы осадков, как в течение года, так и в различные периоды формирования талого и ливневого стока. Выявлено снижение снежного покрова в последние годы или его отсутствие на полях, при этом увеличивается количество экстремальных ливней. Установлены значения среднесуточных температур воздуха, при которых начинается интенсивный сток. Определена зависимость стока воды от интенсивности ливней и суммы осадков. Увеличение доли многолетних трав в структуре посевов почвозащитных севооборотов до 40% позволило сократить сток на 39.3–58.1%, а применение почвозащитной обработки почвы на 21.0–23.7%. Применение противоэрозионных мероприятий, таких как организация территории склона, почвозащитные севообороты и способы обработки почвы и др., позволяет сократить сток до безопасных пределов, а в отдельных случаях полностью его предотвратить.

**Ключевые слова:** среднесуточная температура воздуха, сумма осадков, период снеготаяния, запас воды в снеге, теплый период, почвозащитные мероприятия

DOI: <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-4-4-99-112>

### ВВЕДЕНИЕ

Водная эрозия, наносящая наибольший вред сельскохозяйственным угодьям, является одним из главных факторов деградации черноземов. Изменения в землепользовании меняют круговорот воды на глобальном, региональном и локальном уровнях за счет изменения осадков, испарения, затопления, подземных вод. На глобальном уровне

наиболее заметным для населения планеты видом воздействия в круговороте воды в природе является поверхностный сток, интенсивность которого напрямую влияет на плодородие почв. На локальном уровне возможно управление только антропогенной составляющей (Гарцман, Шаповалов и др., 2023; Сиуков, Семененко, 2025; Wang L. et al., 2025).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На юге европейской части России сток талых вод наблюдается в течение холодного периода (с января по апрель) (Барабанов, 2024). Наибольшее влияние на талый сток оказывают три природных фактора: глубина промерзания почвы, снеготалоходы и влажность пахотного слоя почвы. Из антропогенных факторов сильное влияние оказывает способ обработки почвы и состояние агрофона, однако в последние два десятилетия наблюдается тренд устойчивого снижения стока. Также на интенсивность стока влияют: объем свободных пор в верхнем слое, температурный режим воздуха и выпадение жидких осадков (Барабанов, Петелько, 2023; Гарцман, 2022; Мустафаев, 2022; Li et al., 2025; Xiao et al., 2025; Qinghua et al., 2025). Проблема формирования весеннего поверхностного стока на сельскохозяйственных землях очень актуальна, и ее решение должно быть основано на знании правил взаимодействия снежной воды с талой и мерзлой почвой. При оценке роли стокоформирующих факторов часто не учитывается их взаимное влияние. Поэтому трудно получить однозначный ответ на вопрос об их стокорегулирующей роли. Снеготалоходы, накопленные к началу весеннего снеготаяния, не влияют на впитывание, но от них зависит величина стока, т. е. стекает та их часть, которая не впиталась в почву (Барабанов, 2022).

Ливневый сток наблюдается с мая по сентябрь и зависит от количества выпавших осадков. Формирование стока — это сложный процесс приповерхностного влагооборота, частью которого являются атмосферные осадки, расход воды и компоненты испарения, их динамика и пространственное распределение (Ушаков, Середина, 2024). Результатом стока является смыв почвы, который зависит от интенсивности ливней, суммы осадков за один дождь, уклонов поверхности, величины проективного покрытия поверхности почвы растительным покровом, способов обработки почвы (Полужков, Балакай, 2022; Остроумова, Соловьева, 2022; Чеботарев, 2022; Wang G. et al., 2025). Сохранению и воспроизводству плодородия почвы содействуют мероприятия, разрабатываемые на адаптивно-ландшафтной основе, учитывающие современное состояние земельных участков на агроландшафтах и использующие мелиорирующую способность защитных лесных насаждений (Полужков, Балакай, 2025).

Целью статьи стало исследование интенсивности проявления стока талых и ливневых вод в севооборотах различных конструкций на территории склоновых агрочерноземов в условиях меняющегося климата.

Полевые исследования проводили в 1990–2024 гг. в длительном полевом эксперименте по изучению севооборотов и приемов обработки почвы на эрозионно опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3.5–4° балки Большой Лог Аксайского района Ростовской области. Опытный участок вписывается в контурно-ландшафтную систему организации территории склона, размещенные культуры — полосное, направление обработки почвы и посева — поперек склона приблизительно к горизонталям. Средняя ширина полос от 45 до 55 м. Опыт зарегистрирован в российской Географической сети длительных опытов с удобрениями (аттестат № 169).

Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднесмытым среднемогучим малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидном суглинке. Мощность  $A_{\text{пах}}$  — 25–30 см,  $A+B$  — от 40 до 60 см — в зависимости от смывости. Горизонт А имеет зернистую структуру, АВ — орехово-комковатую и зернисто-комковатую. Вскипание почвы наблюдается с поверхности или в верхней части гумусового горизонта. С той же глубины начинается отложение карбонатов, сначала в виде мицелия, потом в виде прожилок. На глубине 120 см или глубже появляется белоглазка.

Смывость почвы при закладке опыта определена как среднесмытая. Среднегодовой сток около 20 мм (максимальный 34.4 мм). Плотность почвы в пахотном слое варьирует в пределах 1.10–1.25 г/см<sup>3</sup>. Порозность пахотного горизонта — 61.5%, подпахотного — 54%. Полевая влагоемкость 33–35 весовых процентов, влажность завядания 13.9–15.4%. По гранулометрическому составу — мелких фракций 36.52%, крупных — 36.65%.

Климат зоны проведения исследований — засушливый, умеренно жаркий, континентальный. Относительная влажность воздуха имеет ярко выраженный годовой ход. Минимальные ее значения отмечаются в июле — 50–60%, а в отдельные дни даже могут быть 25–30% и ниже. Среднее многолетнее количество осадков 540 мм, их распределение с агрономической точки зрения часто неблагоприятное. За весенне-летний период выпадает 231–290 мм. Среднегодовая температура воздуха + 9.6°, июля + 23°, минимальная зимой — минус 41°С, максимальная летом до + 40°. Глубина промерзания почвы колеблется от 5 до 30 см. Сумма активных температур вегетационного периода составляет 2400–2900°. Частые явления — засухи, имеют место пыльные бури различной степени интенсивности (Климатические нормы..., 2025).

Фактические метеорологические показатели (количество осадков и среднесуточная температура) были получены на метеорологическом посту в п. Рассвет, на приборе Precision Weather Station Vantage Pro2.

Изучали три севооборота с различным соотношением эрозионно устойчивых и неустойчивых культур. Севооборот «А» (контроль) включал 20% чистого пара, 60% зерновых колосовых культур и 20% пропашных культур. Севооборот «Б» – 20% зернобобовых, 40% зерновых колосовых культур, 20% пропашных культур и 20% многолетних трав. Севооборот «В» – 40% зерновых колосовых культур, 20% пропашных культур и 40% многолетних трав. Изучали два варианта обработки почвы в севооборотах: почвозащитную (чизельная) и отвальную, принятую за контроль. Почвозащитная обработка (чизельная) осуществлялась чизельным плугом ПЧ-2.5 или ПЧ-4.5, отвальную обработку почвы (вспашку) выполняли плугом ПЛН-5-35 как основную обработку на глубину 27–30 см в паровом поле и под пропашные культуры; 23–25 см – под многолетние травы и на 20–22 см – под яровые культуры.

Определение стока талой и ливневой воды на фоне различных приемов обработки почвы проводили методом микроплощадок (Изучение динамики..., 1976; Методические рекомендации по учету..., 1975). Высоту снежного покрова измеряли снегомерной рейкой, точность определения до 1 см на снегомерных маршрутах. Замеры проводили в 10 точках через 3–5 м в 3-кратной повторности. Плотность снега определяли снегомером ВС-43 с последующим пересчетом. Математическую обработку полученных результатов проводили с использованием Microsoft Excel и программы Statistica 13.3 (15).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Характеристика метеорологических условий формирования талого стока

Изменение климата в настоящее время является одной из проблем, требующих комплексного решения в почвозащитном земледелии. Нарастание среднесуточных температур и уменьшение количества осадков с конца прошлого века особенно четко видно на диаграмме (рис. 1). В начале 90-х гг. прошлого века средняя сумма осадков за год была больше многолетней нормы на 20 мм (на 4%), а в последнее десятилетие отклонение от нормы составило 30 мм, или на 12% в сторону уменьшения. О чем свидетельствует линия тренда, подтверждающая снижение количества осадков, выпадающих в течение года. При изменении количества осадков меняется и температурный режим в сторону увеличения средней температуры воздуха в среднем на 1.6 °C (16%).

В Ростовской области период снеготаяния начинается с конца февраля до второй декады марта месяца, в редких случаях снег выпадает в последней декаде марта. В последние годы в Приазовской зоне часто отмечаются оттепели, называемые «февральскими окнами», сопровождающиеся кратковременным повышением среднесуточных температур воздуха и таянием снега. Возникновение оттепелей в дневные часы приводит к таянию снега и формированию стока. Потоки талых вод беспрепятственно перемещаются вниз по склону по оттаявшей поверхности верхнего слоя почвы на 3–5 см, а нижние слои при этом остаются промерзшими. Эти условия способствуют формированию талого стока со склоновых земель, уносящего с собой плодородный верхний слой почвы. Сток

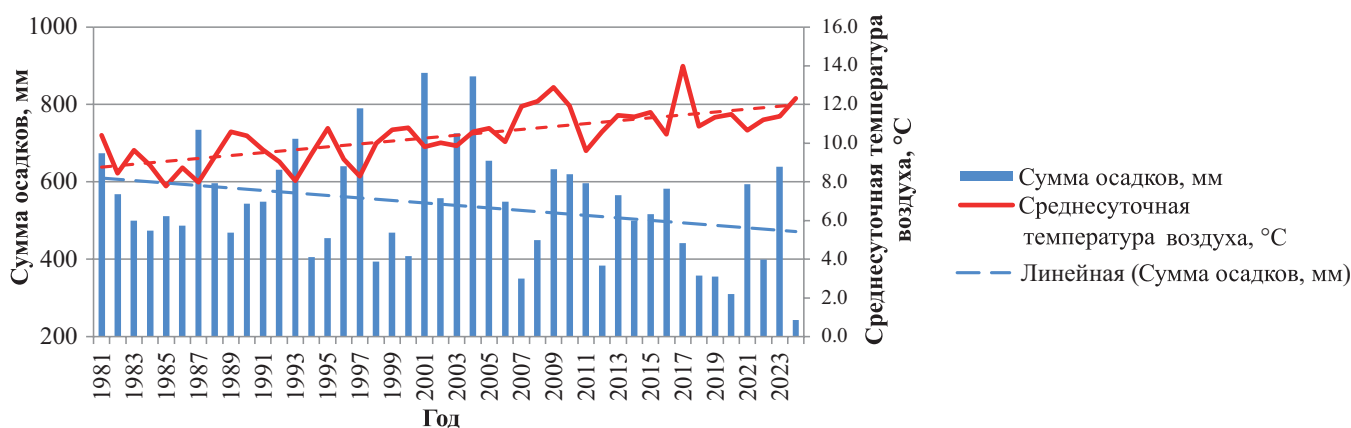


Рис. 1. Сумма осадков и среднесуточная температура воздуха, п. Рассвет, 1981–2024 гг.

Fig. 1. Precipitation and average daily air temperature, Rassvet, 1981–2024



**Рис. 2.** Отклонение от нормы суммы осадков и среднесуточной температуры воздуха периода снеготаяния (февраль-март), п. Рассвет, 1981–2024 гг.

**Fig. 2.** Deviation from the norm of precipitation and average daily air temperature during the snowmelt period (February-March), Rassvet, 1981–2024

зависит от многих факторов: приемов обработки почвы (отвальные и безотвальные, глубокие и мелкие и др.), плотности почвы, водопроницаемости, направления обработки почвы, крутизны и экспозиции склона, количества стерни и пожнивных остатков, степени развития озимых культур или проективного покрытия поверхности почвы растениями и многих других. Все эти показатели в той или иной степени способствуют или препятствуют развитию процессов деградации, и поэтому необходимо учитывать их взаимодействие и влияние при оценке роли стокоформирующих факторов (Барбанов, 2022). Одним из факторов, влияющих на интенсивность талого стока, является рыхлая или уплотненная почва. По данным Е.В. Полуэктова и Г.Т. Балакая (2025), талый сток в посевах озимой пшеницы (уплотненная почва) больше, чем на зяби (рыхлая почва).

Изменение показателей суммы осадков и среднесуточной температуры воздуха периода снеготаяния (февраль-март) аналогично динамике в течение года (рис. 2). В конце прошлого столетия отклонение от нормы суммы осадков за период снеготаяния составляло 9.4 мм, или 11%, а среднесуточная температура воздуха ( $-0.4$  °C) оставалась на уровне среднемноголетних значений. В последние десятилетия количество осадков за этот же период уменьшилось на 17.0 мм (20%), а среднесуточная температура воздуха ( $2.6$  °C) более чем в пять раз

превышала среднемноголетнюю норму ( $-0.5$  °C). Столь значительные изменения погодных условий отразились на количестве твердых осадков периода снеготаяния (высота снежного покрова и запас воды в снеге). Климатические изменения и экономическая ситуация в целом в России вносят свои корректировки в почвозащитные мероприятия.

В последнее десятилетие отмечается значительное сокращение количества снежного покрова, как на всей территории России, так и в Ростовской области (Титкова, Виноградова, 2017). По нашим данным, измерение высоты снежного покрова на зяби выявило тенденцию его уменьшения в последнее десятилетие. В среднем высота снежного покрова за тридцатилетний период исследования в Приазовской зоне колебалась в пределах 11 см. В 90-е гг. прошлого столетия высота снежного покрова достигала 14 см, а в последние годы нынешнего столетия уменьшилась до 10 см. Также участились случаи малоснежных зим, когда высота его не превышала 2–3 см в период снеготаяния. Значительное изменение климата сказывается и на процессах накопления снега и его снеготаяния (рис. 3).

Изменение ценовой политики по части энергоносителей привело к тому, что многие хозяйства сокращают некоторые технологические операции при возделывании сельскохозяйственных культур с целью уменьшения затрат на единицу продукции.

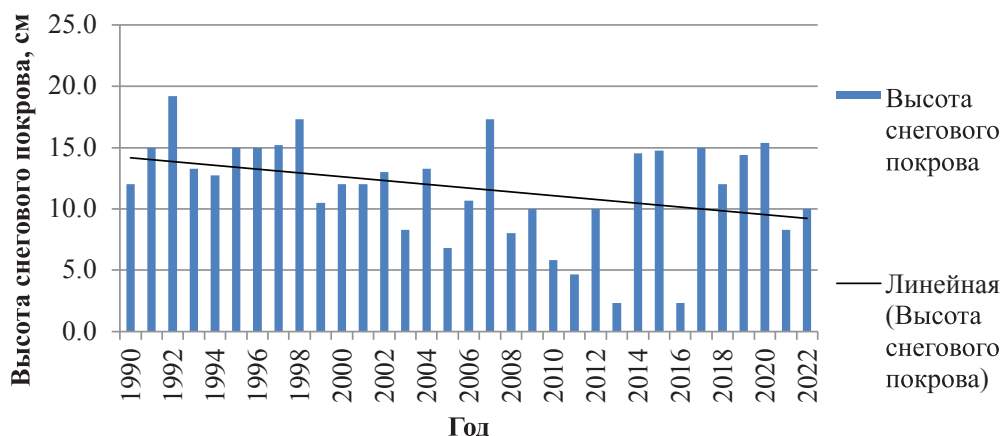


Рис. 3. Высота снежного покрова на зяби в начале периода снеготаяния, см, п. Рассвет, 1990–2022 гг.

Fig. 3. Snow cover height in the swell at the beginning of the snowmelt period, cm, Rassvet, 1990–2022

Примером тому является отказ от таких противо-эрозионных приемов на полях, как лункование и снегозадержание. В результате происходят потери талых вод в виде стока, приводящие к снижению плодородного слоя почвы (рис. 4).

В последние годы изменение климата в сторону потепления и уменьшения снежного покрова на полях способствует лучшей перезимовке озимых культур на полях. С одной стороны, отсутствие снега на полях не приводит к разрушительным последствиям, таким как жидкий и твердый сток, с другой стороны, сокращение количества осадков отражается на накоплении запасов продуктивной влаги в почве (Барабанов, 2024; Гаевая, 2016).

Для южных регионов страны это является значительным фактором, влияющим на урожайность сельскохозяйственных культур. Основное влагонакопление для формирования будущего урожая происходит в холодный период года с ноября по март, когда выпадает более половины нормы годовых осадков в виде дождя и снега, а непродуктивные потери влаги на испарение являются минимальными. Поэтому задача почвозащитного земледелия – сократить непродуктивные потери влаги и максимально сохранить ее в почве. Одним из способов предотвращения непродуктивных потерь влаги на склонах является контурно-полосная организация территории склона с чередованием



Рис. 4. Сток талых вод на зяби (а) и посевах озимой пшеницы (б), п. Рассвет, 2010 г.

Fig. 4. Runoff of meltwater in the swell (a) and winter wheat crops (б), Rassvet, 2010

в полосах эрозионно устойчивых и неустойчивых культур или чередование почвозащитной обработки почвы и отвальной вспашки. Об эффективности противоэрозионных обработок почвы говорится в работах многих авторов (Борин, Лощинина, 2018; Гаевая, 2016; Подлесных, Соловьева, 2020).

Различные по конструкции и по соотношению культур в структуре посевов севооборота имеют различные показатели по стоку талой воды. Эти параметры существенно отличаются от аналогичных показателей при сплошном размещении культур на склонах, когда все поле занимает монокультурой или зябью. Вместе с тем эрозионная устойчивость изучаемых севооборотов неодинакова, поскольку она различна для культур и чистого пара, входящих в состав конкретного севооборота. Целесообразное взаимное расположение в полосах культур и чистого пара способно в значительной мере сократить сток, а в отдельных случаях — и полностью приостановить.

Сток талой воды в первую очередь определяется запасом воды в снеге и интенсивностью снеготаяния. Вне изучаемых севооборотов на склоне той же крутизны, не имеющем почвозащитного комплекса, сток талой и ливневой воды в среднем составлял 18 мм, а в отдельных случаях достигал 34.4 мм (Ильинская и др., 2023).

Различные погодные условия в период таяния снега по-разному влияют на эрозионные процессы; при стремительном нарастании среднесуточных температур, интенсивном выпадении осадков в виде дождя и снега, а также существенных запасах воды в снеге, складываются предпосылки для стока талых вод. При постепенном нарастании среднесуточных температур происходит медленное таяние снега и частичное оттаивание верхнего слоя почвы. Также на процессы таяния снега оказывает влияние инсоляция, при которой часть снега испаряется и не участвует в стокообразовании (Шайдулина, 2022).

На зяблевых полях, подготовленных для посева яровых культур, где почва не защищена, потоки воды смывают с поверхности поля плодородный слой до

промерзшей почвы или до плужной подошвы. Наличие в севообороте 20 или 40% многолетних трав способно сократить, а в отдельных случаях полностью предотвратить сток талых вод. Многолетние травы, имея хорошо развитую корневую систему и достаточное количество растительных остатков на поверхности поля, способны надежно защитить почву от стока и смыва, в отличие от зяблевых полей. Еще одна культура, остающаяся зимовать на полях в южных регионах России, — это озимая пшеница, которая также защищает поверхность почвы от развития процессов эрозии. Однако ее способность противостоять смыву и размыву зависит от ряда факторов. Один из факторов — это условия перезимовки: при суровых зимах посевы могут частично вымерзнуть, и почва будет подвержена в большей степени эрозионным процессам. Другой фактор, влияющий на процессы стока и смыва, — это состояние развития растений или проективное покрытие, позволяющее полностью закрыть почву, а хорошее развитие корневой системы способно надежно скрепить почву, предотвращая смыв и размыв. Поэтому правильно сконструированный севооборот позволяет надежно защищать эрозионные участки от процессов эрозии.

Для изучения эрозионной устойчивости склонов за контрольный вариант был взят полевой севооборот «А», в структуру посевных площадей которого входило 20% чистого пара, 20% пропашных культур и 60% колосовых культур. Эрозионная устойчивость других севооборотов была сопоставлена с севооборотом «А» (табл. 1).

В севооборотах при контурно-ландшафтной организации склона и полосном размещении культур, при использовании отвальной обработки почвы величина стока талой воды определялась в значительной мере соотношением эрозионно устойчивых и неустойчивых культур. За период исследований наибольший сток воды 17.3–22.7 мм зарегистрирован в севообороте «А» с 20% чистого пара, не имеющем в структуре посевных площадей многолетних трав в вариантах почвозащитной и

**Таблица 1.** Талый сток в зависимости от конструкции севооборота и способа обработки почвы, мм, 1992–2024 гг.

**Table 1.** Melt runoff depending on the design of crop rotation and the method of tillage, mm, 1992–2024

Способ обработки почвы	Севооборот					
	«А»: 20% чистого пара и 0% многолетних трав		«Б»: 0% чистого пара и 20% многолетних трав		«В»: 0% чистого пара и 40% многолетних трав	
	сток	К <sub>стока</sub>	сток	К <sub>стока</sub>	сток	К <sub>стока</sub>
Отвальная	22.7 ± 1.7	0.32	13.3 ± 1.3	0.18	9.5 ± 1.0	0.13
Чизельная	17.3 ± 1.0	0.25	10.5 ± 0.9	0.15	7.5 ± 1.0	0.11

отвальной обработки почвы. Введение в севооборот «В» 40% многолетних трав в структуру посевов и применение чизельной обработки позволило сократить сток более чем в два раза (7.5–9.5 мм;  $p < 0.05$ ). Севооборот «Б» с 20% многолетних трав занимал промежуточное положение, а сток был ниже на 39.3–41.4% (10.5–13.3 мм;  $p < 0.05$ ), чем в севообороте с 20% чистого пара, и больше на 28.6%, чем в севообороте с 40% многолетних трав в структуре посевов. В севообороте с 40% многолетних трав в структуре посевов отмечена наибольшая эрозионная устойчивость, чем в севообороте без многолетних трав, соответственно ниже были потери гумуса и элементов минерального питания.

Во все годы контурно-полосная организация территории склона и чередование в полосах устойчивых и неустойчивых к эрозии культур позволили и территориально, и по силе проявления значительно сократить эрозионные процессы. Более защищенными полосы чистого пара и озимой пшеницы оказались не только в отношении сплошного размещения парового поля, но и в отношении сплошного размещения озимой пшеницы, очевидно, потому, что часть воды поглощалась полосами чистого пара, имеющими в летнее время высокую водопроницаемость.

### Моделирование процессов талого стока

Анализ результатов исследования с использованием многомерных графиков позволяет найти нелинейные и немонотонные зависимости между переменными (Statistica 13.3). Были проанализированы средняя температура и сумма осадков периода снеготаяния. В Северном Приазовье пе-

риод снеготаяния наступает в конце февраля или начале марта. В этот период, по нашим исследованиям, сумма осадков колебалась в пределах от 2 до 105 мм, а среднесуточная температура была минимальная (минус 1.1 °С), максимальная +4.7 °С. При этих условиях фактический сток изменялся от 1.0 до 44.8 мм (рис. 5).

В результате анализа были выявлены следующие закономерности: при увеличении количества осадков периода снеготаяния с 45–50 до 50–70 мм и увеличении значений средней температуры воздуха отмечается увеличение стока в почвозащитных севооборотах. В полевом севообороте с наличием 20% чистого пара среднегодовой сток составлял 15–20 мм при среднесуточной температуре 1.5–2 °С. В почвозащитных севооборотах с различными долями многолетних трав интенсивный сток начинается при более высоких значениях среднесуточной температуры воздуха периода снеготаяния 2–4 °С. В севообороте с 20% многолетних трав максимальный сток (10–15 мм) отмечался при температуре 3–4 °С, а в севообороте с долей многолетних трав 40% сток не превышал 12 мм при увеличении температуры до 5–6 °С. В севообороте с повышенной долей многолетних трав сток талых вод намного меньше, чем в полевом севообороте. Здесь проявляется почвозащитное действие многолетних трав, и излишняя влага впитывается в оттаявшую почву при более высокой температуре.

### Характеристика метеорологических условий формирования ливневого стока

Динамика метеорологических условий теплого периода года (апрель – август) повторяет тенден-

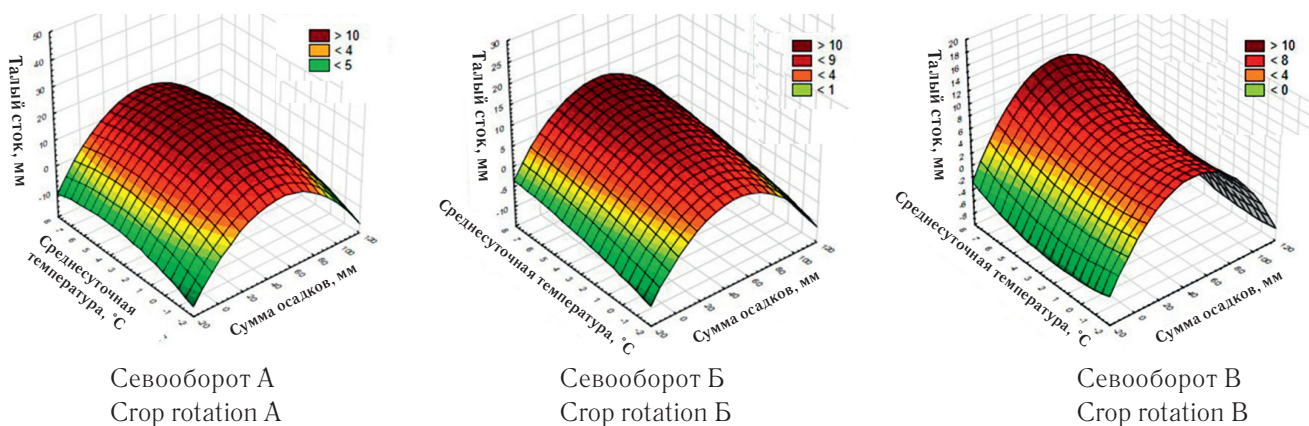


Рис. 5. Зависимость талого стока (мм) от среднесуточной температуры (°С) и суммы осадков периода снеготаяния (мм) в севооборотах различной конструкции, п. Рассвет, 1990–2023 гг.

Fig. 5. The dependence of melt runoff (mm) on the average daily temperature (°C) and the amount of precipitation during the snowmelt period (mm) in crop rotations of various designs, Rassvet, 1990–2023

**Таблица 2.** Показатели ливневого стока, 1992–2024 гг.**Table 2.** Indicators of stormwater runoff, 1992–2024

Показатель	Количество осадков за один ливень, мм	Интенсивность ливня, мм/мин	Сток, мм
Минимальный	20.2	1.01	7.5
Максимальный	53.5	2.33	44.4
Среднее	32.1	1.5	15.3

цию показателей в целом в течение года. Отмечено уменьшение количества осадков и нарастание среднесуточной температуры воздуха. В последние два десятилетия прошлого века в течение теплого периода года выпадало в среднем на 12.9 мм (6.5%) осадков больше среднемноголетней нормы. С начала XXI в. отклонение от среднемесячной нормы в сторону уменьшения составляет 43.8 мм (22.1%). Однако с уменьшением количества среднемесячных осадков в последние десятилетия наблюдается увеличение количества экстремальных ливней (Голосов, 2024). По нашим исследованиям, в период с 2000 по 2024 г. количество среднемесячных осадков, превышающих среднемноголетнюю норму в 1.5–2 раза, увеличилось на 56–71% по сравнению с прошлым веком. Столь неравномерное распределение осадков на фоне уменьшения в остальные месяцы теплого периода года создает предпосылки для формирования летнего стока (рис. 6).

Температурный режим в течение теплого периода года, наоборот, увеличился. Так, если в конце 80–90-х гг. прошлого века среднесуточная температура была незначительно ниже, на 0.37 °C (1.8%), среднемноголетних значений, то в последующие двадцать лет превышение составило 1.8 °C (8.4%).

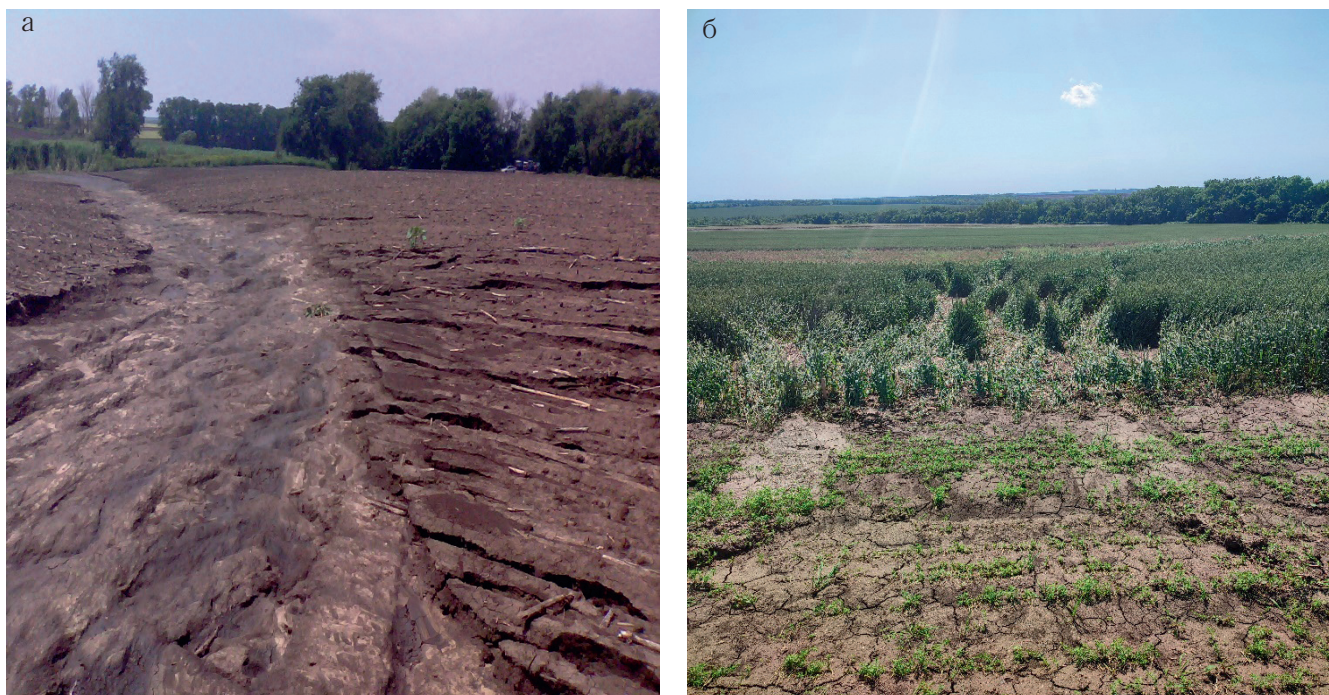
В течение длительного периода наблюдений с 1990 по 2023 г. было сравнительно немного ливней с большим количеством осадков и высокой интенсивностью их выпадения. Осадки, выпадающие с небольшой интенсивностью, при сильно высушенном верхнем слое почвы, повышенной эрозионной опасности не представляли. Интенсивность ливня явилась основным показателем, определяющим эрозионную значимость (табл. 2).

Если в последние 3–5 лет эрозионных процессов в период таяния снега либо совсем не отмечено, либо они не носили разрушительный характер, то смывы и размывы ливневой водой имели место.



**Рис. 6.** Отклонение от нормы суммы осадков (мм) и среднесуточной температуры воздуха (°C) теплого периода года (май – август), п. Рассвет, 1981–2024 гг.

**Fig. 6.** Deviation from the norm of precipitation (mm) and average daily air temperature (°C) during the warm season (May–August), Rassvet, 1981–2024



**Рис. 7.** Сток ливневых вод при сплошном размещении чистого пара (а) и полосном размещении озимых и яровых культур (озимая пшеница и масличный лен) (б), п. Рассвет, 2023 г.

**Fig. 7.** Stormwater runoff with continuous placement of pure steam (a) and striped placement of winter and spring crops (winter wheat and oilseed flax) (b), Rassvet, 2023

Причем ливневые осадки были не слишком велики, но отмечалась их высокая интенсивность. За последние тридцать лет выявлено снижение суммы атмосферных осадков в ряде зон Ростовской области и увеличение аридности климата. При этом выпадение осадков носит неравномерный характер (Bezuglova et al., 2022). В некоторые месяцы осадки вообще отсутствуют, а в другие месяцы их сумма в два-три раза больше среднемесячной нормы. Ливневый характер выпадения осадков способствует развитию эрозионных процессов на склоновых землях (рис. 7).

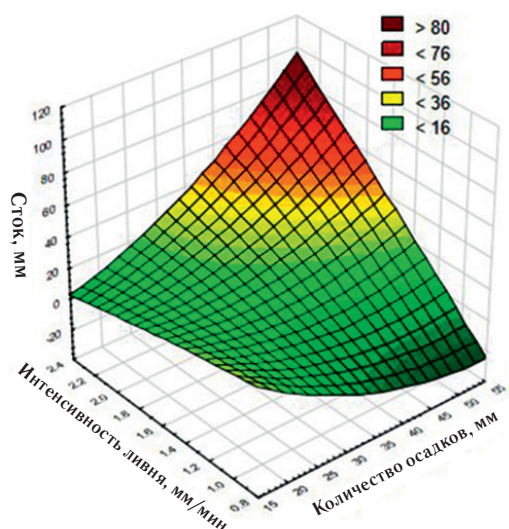
Наблюдения за интенсивностью ливней выявили большой разброс в значениях от 1.01 до 2.33 мм/мин. Наибольший сток был отмечен в 1997 г. и составлял 44.4 мм. При этом сток воды зависел в меньшей степени от интенсивности ливней ( $r = 0.36$ ), чем от суммы выпавших осадков ( $r = 0.57$ ), имеющих среднюю тесноту связи. Этот факт еще раз подтверждает, что эрозионные процессы начинают проявляться при низкой водопроницаемости и полной влагоемкости почвы, когда избыточное количество воды не успевает впитываться и стекает вниз по склону, унося с собой плодородный слой почвы.

### **Моделирование процессов ливневого стока**

Выявлена прямая зависимость летнего стока от интенсивности ливня и суммы выпавших осадков. При складывающихся условиях (плотность, водопроницаемость, влажность почвы) максимальный сток ливневых вод был отмечен при сумме осадков 53.5 мм (табл. 2, рис. 8). Количество смытой почвы напрямую зависит от стока и величины осадков за один ливень. Сток колеблется в пределах от 7.5 до 44.4 мм, а количество за один ливень 20.2–53.5 мм.

Во все годы исследований контурно-ландшафтная организация территории склона и чередование в полосах устойчивых и неустойчивых к эрозии культур позволили и территориально, и по интенсивности проявления сократить эрозионные процессы. Более защищенными полосы чистого пара и озимой пшеницы оказались не только в сравнении со сплошным его размещением, но и в сравнении с полосным размещением озимой пшеницы, поскольку часть воды поглощалась полосами чистого пара, имеющими в летнее время высокую водопроницаемость.

В результате изменений климата в последние десятилетия меняются и процессы стокообразования. Малоснежные и относительно теплые зимы



**Рис. 8.** Зависимость ливневого стока (мм) от интенсивности ливня (мм/мин) и количества осадков, выпавших за один ливень (мм), п. Рассвет, 1990–2023 гг.

**Fig. 8.** Dependence of stormwater runoff (mm) on intensity of the downpour (mm/min) and the amount of precipitation in one downpour (mm), Rassvet, 1990–2023

отражаются на темпах стока талых вод со склонов вплоть до полного его отсутствия в отдельные годы. Увеличение экстремально опасных ливней в последние десятилетия приводит к увеличению ливневого стока. Однако спектр противоэрозионных мероприятий, таких как организация территории склона, применение почвозащитных севооборотов и способов обработки почвы, проективное покрытие почвы культурами сплошного сева, регулирование водного режима агрочерноземов за счет физических свойств и др., позволяет сократить сток до безопасных пределов, а в отдельных случаях полностью его предотвратить.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Ростовской области в последние десятилетия наблюдается изменение климата, выражающееся в увеличении среднесуточной температуры воздуха на 1.6 °C и уменьшении слоя осадков на 30 мм в течение года. В период снеготаяния и теплый период года количество осадков уменьшилось на 20.0 и 22.1%, а среднесуточная температура воздуха более чем превышала среднемноголетнюю норму на 119.2 и 8.4% соответственно. Количество экстремальных осадков, превышающих среднемноголетнее значение в 1.5–2 раза, увеличилось на

56–71% по сравнению с прошлым веком. Отмечено уменьшение снежного покрова в последние годы, а также участились случаи малоснежных зим. Увеличение доли многолетних трав в структуре посевов почвозащитных севооборотов до 40% сокращает сток на 39.3–58.1%, а применение почвозащитной обработки почвы сокращает его на 21.0–23.7%. В результате проведения многомерного анализа установлено, что в почвозащитных севооборотах с различной долей многолетних трав интенсивный талый сток начинается при более высоких значениях среднесуточных температур воздуха 2–4 °C и 5–6 °C. Ливневый сток воды зависел в меньшей степени от интенсивности ливней, чем от суммы выпавших осадков. В условиях климатических изменений и использования почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных культур отмечается перераспределение талого и ливневого стока. Применение контурно-полосной организации территории с чередованием в полосах рыхлой и уплотненной пашни позволяет регулировать свойства черноземов обыкновенных (плотность, водопроницаемость, полную влагоемкость почвы) и поглощать частично или полностью сток.

### ЛИТЕРАТУРА

- Барабанов А.Т. Новый подход к прогнозированию склонового стока талых вод на сельскохозяйственных землях в бассейнах Волги и Дона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4(68). С. 21–30. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-02>.
- Барабанов А.Т. Формирование весеннего склонового стока на сельскохозяйственных землях лесостепной и степной зон Европейской части России // География и природные ресурсы. 2024. Т. 45, № 3. С. 113–119. <https://doi.org/10.15372/GIPR20240311>.
- Барабанов А.Т., Петелько А.И. Факторы склонового весеннего стока на серых лесных почвах в Центральной лесостепи // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2023. Т. 78, № 4. С. 18–27. <https://doi.org/10.55959/10.55959/msu0579-9414.5.78.4.2>.
- Борин А.А., Лощинина А.Э. Влияние различных систем обработки почвы на ее агрофизические свойства и урожайность культур севооборота // Агрофизика. 2018. № 3. С. 1–7. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.03.01>.
- Гаева Э.А. Влияние тепловлагообеспеченности на эффективность использования почвенной влаги

озимой пшеницей, возделываемой на эрозионно опасных склонах Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 1(21). С. 155–167.

Гарцман Б.И., Шамов В.В., Губарева Т.С. и др. Условия формирования стока: комплексные исследования на экспериментальных водосборах в верховьях р. Уссури // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 511, № 2. С. 261–267. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600777>.

Голосов В.Н. Водная эрозия почв в условиях изменений климата и землепользования: современное состояние и прогноз // Эрозия почв и русловые процессы. 2024. № 1. С. 19–34. <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2024-1-1-19-34>.

Изучение динамики поверхностного стока и смыва почвы в зависимости от крутизны и длины склонов. Методы исследования водной эрозии почв / Д.Д. Германюк. Кишинев, 1976. С. 158–164.

Ильинская И.Н., Полуэктов Е.В., Гаева Э.А., Батищев И.В., Тарадин С.А. Особенности формирования поверхностного стока талых вод на чернозёмах обыкновенных // Земледелие. 2023. № 6. С. 13–18. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-13-18>.

Климатические нормы, Гидрометцентр России: о погоде – из первых рук. <https://meteoinfo.ru/climacities>. (Дата обращения: 03.10.2025).

Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 88 с.

Мустафаев Ж.С. Экологический профиль мелиорации сельскохозяйственных земель // Природообустройство. 2022. № 2. С. 13–22. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-2-13-22>.

Остроумова Л.П., Соловьева Л.Н. Сток воды, поступающей в Азовское море из устьевой области Кубани, под влиянием антропогенных и климатических факторов // Труды Государственного океанографического института. 2022. № 223. С. 79–99.

Подлесных И.В., Соловьева Ю.А. Новый подход в методологии формирования структуры севооборотов с учетом противозерозионной роли сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 11. С. 21–25. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11103>.

Полуэктов Е.В., Балакай Г.Т. Особенности проявления эрозионных процессов при снеготаянии и выпадении ливневых дождей на юге России // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 1. С. 1–22. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-1-22>.

Полуэктов Е.В., Балакай Г.Т. Эрозия почв при выпадении ливней на юге европейской части России // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 1–19. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19>.

Сиуков С.С., Семененко С.Я. Поверхностный сток: глобальный и локальный аспекты // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1(79). С. 173–183. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-18>.

Титкова Т.Б., Виноградова В.В. Сроки залегания снежного покрова на территории России в начале XXI в. По спутниковым данным // Лёд и Снег. 2017;57(1):25-33. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-1-25-33>

Ушаков А.Е., Серeda Т.А. Анализ взаимосвязей негативных последствий эрозии почв сельскохозяйственных угодий. Обзор методов ее снижения // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 2. С. 186–210. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-186-210>.

Чеботарев Н.П. Вариация стока и его факторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 2. С. 146–147. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9322>.

Шайдулина А.А. Расчеты поступления солнечной радиации на склоны в период снеготаяния // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 1. С. 50–58. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9085>.

Bezuglova O.S., Ilyinskaya I.N., Zakrutkin V.E., Nazarenko O.G., Litvinov Yu.A., Gayevaya E.A., Mezhenkov A.A., Zhumbey A.I. Dynamics of Land Degradation in Rostov Oblast. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2022; 86(1):41–54. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010034> (In Russ.)

Li Z., Xu W., Li H. et al. Runoff contribution of spring snowmelt in the source region of the Yangtze River and its variation characteristics // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2025. Vol. 58. P. 102295. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102295>.

Qinghua L., Changhao Z., Jian T. et al. Experimental Study on the Mechanism of Artificial Runoff Generation on Typical Slopes in Farmland of North China // *Hydrological Processes*. 2025. Vol. 39. <https://doi.org/10.1002/hyp.70078>.

StatSoft, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 13. 2020. Available online: <https://web.archive.org/web/20131213145004/> (Дата обращения: 6 октября 2025 г.)

## БЛАГОДАРНОСТИ

Wang G., Zhang K., Zhang Z. Dynamics of snow-melt-induced erosion on typical sloping farmland in the Mollisol region of Northeast China // CATENA. 2025. Vol. 253. P. 108899.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108899>.

Wang L., Zhang F., Chen Y. et al. Investigating climate change impacts on runoff and sediment transport processes in the midstream of the Yarlung Tsangpo river based on hydrological simulation // CATENA. 2025. Vol. 254. P. 108920.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108920>.

Xiao Y., Jiang Q., Zhao W. et al. Disparity in soil erosion processes between freeze-thaw and unfrozen slopes under artificial rainfall conditions in high-altitude and dry valleys of the Southeast Tibet region // International Soil and Water Conservation Research. 2025. Vol. 13. (4). P. 828–842.

<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.05.009>.

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания ФГБНУ ФРАНЦ FNFZ-2022–0003 «Разработать усовершенствованные эколого-адаптивные технологии возделывания новых сортов сельскохозяйственных культур в севооборотах различных конструкций Приазовской зоны Ростовской области».

## ОБ АВТОРЕ

Эмма Анатольевна Гаевая – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории адаптивно-ландшафтного земледелия и защиты почв от эрозии Федерального Ростовского аграрного научного центра.

Адрес: 346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1. E-mail: emmaksay@inbox.ru

## SURFACE RUNOFF OF MELTWATER AND STORMWATER FROM THE TERRITORY OF ORDINARY SLOPING CHERNOZEMS OF THE NORTHERN AZOV REGION IN A CHANGING CLIMATE

E.A. Gaevaya

*Federal Rostov Agricultural Research Center, Rostov region, Aksai district, Rassvet settlement, Russia*

**Annotation.** Soil erosion is one of the main factors in the degradation of chernozems, causing the greatest damage to agricultural land as a result of land development. The load on the soil has increased especially in recent decades, due to the intensification of agriculture, an increase in yield and a reduction in the return of nutrients to the soil, which led to a change in the physical properties of chernozems. Therefore, the purpose of the study was to study the intensity of runoff of meltwater and stormwater in crop rotations of various designs in the territory of sloping agro-chernozems in a changing climate. Field research was conducted in the Rostov region of Aksai district in a long-term field experiment to study crop rotations and tillage techniques in 1990–2024. The experimental site is located on an erosion-hazardous slope of the southeastern exposure with a steepness of up to 3.5–4°, the organization of the slope territory is a contour-landscape system. The soil cover of the site is represented by ordinary carbonate medium-washed medium-bulk low-humus heavy loam on loess-like loam. As a result of the changing climate, a change in runoff formation processes has been noted in recent decades. Climate change is manifested in an increase in the average daily air temperature and a decrease in precipitation, both throughout the year and during various periods of melt and storm runoff formation. There has been a decrease in snow cover in recent years or its absence in the fields, while the number of extreme downpours is increasing. The values of the average daily air temperatures at which intensive runoff begins have been established. The dependence of water runoff on the intensity of heavy rains and the amount of precipitation has been revealed. An increase in the share of perennial grasses in the crop structure of soil-protective crop rotations to 40% reduced runoff by 39.3–58.1%, and the use of soil-protective tillage by 21.0–23.7%. The use of anti-erosion measures such as the organization of the slope area, the use of soil-protective crop rotations and tillage methods, etc., can reduce runoff to safe limits, and in some cases completely prevent it.

**Keywords:** average daily air temperature, precipitation, snowmelt period, water supply in the snow, warm period, soil protection measures

REFERENCES

Barabanov A.T. The formation of spring slope runoff on agricultural lands of the forest-steppe and steppe zones of the European part of Russia // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2024. Vol. 45, No 3. P. 113–119. <https://doi.org/10.15372/GIPR20240311>. (In Russ).

Barabanov A.T. A new approach to predicting the slope runoff of meltwater on agricultural lands in the Volga and Don basins // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2022. No 4(68). P. 21–30. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-02>. (In Russ).

Barabanov A.T., Petel'ko A.I. Factors of sloping spring runoff on gray forest soils in the Central forest-steppe // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2023. Vol. 78, No 4. P. 18–27. <https://doi.org/10.55959/10.55959/msu0579-9414.5.78.4.2>. (In Russ).

Bezuglova O.S., Ilyinskaya I.N., Zakrutkin V.E., Nazarenko O.G., Litvinov Yu.A., Gayevaya E.A., Mezhenkov A.A., Zhumbey A.I. Dynamics of Land Degradation in Rostov Oblast // *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2022; 86(1): 41–54. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010034> (In Russ.)

Borin A.A., Loshhinina A.E. The influence of various tillage systems on its agrophysical properties and crop yields // *Agrofizika*. 2018. No 3. P. 1–7. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.03.01>. (In Russ).

Chebotarev N.P. Variation of runoff and its factors // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2022. No 2. P. 146–147. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9322>. (In Russ).

Gaevaya E.A. Influence of heat and moisture availability on the efficiency of soil moisture use by winter wheat cultivated on erosively dangerous slopes of the Rostov region // *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*. 2016. No 1(21). P. 155–167. (In Russ).

Garczman B.I., Shamov V.V., Gubareva T.S. et al. Conditions of runoff formation: comprehensive studies on experimental watersheds in the upper reaches of the Ussuri River // *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle*. 2023. Vol. 511, No 2. P. 261–267. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600777>. (In Russ).

Golosov V.N. Water erosion of soils in conditions of climate change and land use: current state and forecast // *Eroziya pochv i ruslovnye processy*. 2024. No 1. P. 19–34.

<https://doi.org/10.71367/3034-4638-2024-1-1-19-34>. (In Russ).

Ilyinskaya I.N., Poluektov E.V., Gaevaya E.A. Batischev I.V., Taradin S.A. Features of the formation of surface runoff of meltwater on ordinary chernozems // *Zemledelie*. 2023. No 6. P. 13–18.

<https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-13-18>. (In Russ).

Study of the dynamics of surface runoff and soil washout depending on the steepness and length of slopes. Methods of investigation of water erosion of soils / D.D. Germanyuk. Kishinev, 1976. P. 158–164. (In Russ).

Climatic norms, Hydrometeorological Center of Russia: first-hand information about the weather. <https://meteoinfo.ru/climatecities>. Accessed 03/10/2025. (In Russ).

Li Z., Xu W., Li H. et al. Runoff contribution of spring snowmelt in the source region of the Yangtze River and its variation characteristics // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2025. Vol. 58. P. 102295. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102295>.

Methodological recommendations on the consideration of surface runoff and soil flushing in the study of water erosion. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 88 p. (In Russ).

Mustafaev Zh.S. Ecological profile of agricultural land reclamation // *Prirodoobustrojstvo*. 2022. No 2. P. 13–22. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-2-13-22>. (In Russ).

Ostroumova L.P., Solov'eva L.N. Runoff of water entering the Sea of Azov from the mouth of the Kuban region under the influence of anthropogenic and climatic factors // *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta*. 2022. No 223. P. 79–99. (In Russ).

Podlesnyx I.V., Solov'eva Yu.A. A new approach to the methodology of forming the structure of crop rotations, taking into account the anti-erosion role of agricultural crops // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. Vol. 34, No 11. P. 21–25.

<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11103>. (In Russ).

Poluektov E.V., Balakaj G.T. The threat after assuming office of the Libyan Republic of Russia // *Melioraciya i gidrotexnika*. 2022. Vol. 12, No 2. P. 1–19. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19>. (In Russ).

Poluektov E.V., Balakaj G.T. Features of the manifestation of erosive processes during snowmelt and heavy rains in the south of Russia // *Melioraciya i gidrotexnika*. 2025. Vol. 15, No 1. P. 1–22. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-1-22>. (In Russ).

Qinghua L., Changhao Z., Jian T. et al. Experimental Study on the Mechanism of Artificial Runoff Generation on Typical Slopes in Farmland of North China // *Hydrological Processes*. 2025. Vol. 39. <https://doi.org/10.1002/hyp.70078>.

Shajdulina A.A. Variation of runoff and its factors // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2022. No 1. P. 50–58.

<https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9085>. (In Russ).

Siukov S.S., Semenenko S.Ya. Surface runoff: global and local aspects // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2025. No 1(79). P. 173–183. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-18>. (In Russ).

StatSoft, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 13. 2020. Available online: <https://web.archive.org/web/20131213145004/> (Accessed: 06.10.2025)

Titkova T.B., Vinogradova V.V. The timing of the occurrence of snow cover in Russia in the early 21st century. According to satellite data // *Lyod i Sneg*. 2017; 57(1) P. 25–33.

<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-1-25-33>. (In Russ).

Ushakov A.E., Sereda T.A. Analysis of interrelations of negative effects of soil erosion of agricultural lands. An overview of methods for reducing it // *Melioraciya i gidrotexnika*. 2024. Vol. 14. No 2. P. 186–210. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-186-210>. (In Russ).

Wang G., Zhang K., Zhang Z. Dynamics of snowmelt-induced erosion on typical sloping farmland in the Mollisol region of Northeast China // *CATENA*. 2025.

Vol. 253. P. 108899.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108899>.

Wang L., Zhang F., Chen Y. et al. Investigating climate change impacts on runoff and sediment transport processes in the midstream of the Yarlung Tsangpo river based on hydrological simulation // *CATENA*. 2025. Vol. 254. P. 108920.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108920>.

Xiao Y., Jiang Q., Zhao W. et al. Disparity in soil erosion processes between freeze-thaw and unfrozen slopes under artificial rainfall conditions in high-altitude and dry valleys of the Southeast Tibet region // *International Soil and Water Conservation Research*. 2025. Vol. 13. (4). P. 828–842.

<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.05.009>.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was conducted under a state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project number FNFZ-2022–0003 entitled “Develop Improved Ecologically Adaptive Technologies for Cultivating New Varieties of Crops in Crop Rotations of Various Designs of the Azov Zone of the Rostov Region”.

## ABOUT THE AUTHOR

Emma Anatolyevna Gaevaya is a Candidate of Biological Sciences, a leading researcher at the Laboratory of Adaptive Landscape Agriculture and Soil Erosion Protection at the Federal Rostov Agricultural Research Center.

Address: 346735, Rostov region, Aksai district, Rassvet settlement, Institutsкая str., 1.

E-mail: emmaksay@inbox.ru

## ЭРОЗИЯ ПОЧВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

№ 4. 2025

Формат обрезной 204x285

Объем 112 с.

Бумага офсетная

Печать цифровая

Тираж 25 экз.