

**С. А. Манжина**

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

## **ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ДИФфуЗИОННЫМ СТОКОМ В ЗОНЕ ИНТЕНСИВНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Цель:** обзор существующих в настоящее время методов наблюдения и регистрации эрозии почв и выноса загрязнений с сельскохозяйственных полей. **Материалы и методы.** В качестве материалов исследования использовались данные Росгидромета и Минприроды России, труды российских и зарубежных ученых-исследователей. В процессе изучения применялись методы анализа, статистической обработки и обобщения данных. **Результаты.** В целях регистрации водной эрозии применяют ряд методов анализа, основные из которых можно объединить в соответствующие группы, такие как измерение рельефных изменений, измерение объемов выноса почв, измерение концентрации специфического компонента – трассера и наземное сканирование. В работе дана общая характеристика приведенных групп методов контроля. Наиболее новым направлением является наземное сканирование, которое в настоящее время представлено двумя вариантами: короткодистанционной стереофотометрической съемкой и лазерным 3D-сканированием. Последнее вызывает все больший интерес у мирового сообщества. Также делаются попытки применять для выявления и прогнозирования эрозии почв данные дистанционного зондирования Земли, однако до настоящего времени использование этого метода является спорным. Загрязнения, поступающие с полей в водные объекты, принято контролировать двумя способами: отбором проб вод водного объекта либо отбором проб поверхностного стока. **Выводы.** Мониторинг диффузионного стока не только призван выявить количество поступающих поллютантов и взвешенных веществ, но и будет способствовать принятию решений и разработке мер и мероприятий по улучшению экологического состояния водосборов. Из числа исследованных методов, применяемых в настоящее время для наблюдения и регистрации последствий диффузионного стока с сельскохозяйственных полей, наиболее приемлемым и простым в осуществлении является метод стоковых площадок, а наиболее перспективным методом для регистрации водной эрозии почв будет являться лазерное 3D-сканирование.

**Ключевые слова:** диффузионный сток; водная эрозия почв; последствия диффузионного стока; объем выноса почв; методы контроля; наземное сканирование; исследование проб.

**S. A. Manzhina**

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

## **POSSIBILITIES FOR DIFFUSE RUNOFF POLLUTION EMISSION CONTROL IN THE AREA OF INTENSIVE AGRICULTURAL ACTIVITY**

**Purpose:** to review the currently existing methods for monitoring and recording soil erosion and emission of pollutants from agricultural fields. **Materials and methods.** The data



from Russian Meteorological service and the Ministry of Natural Resources of Russia, materials of Russian and foreign scientists and researchers as research materials were used. The methods of analysis, statistical processing and compilation were used in the process of studying. **Results.** To register water erosion, a number of analysis methods are used, the main of which can be combined into appropriate groups, such as measuring relief changes, measuring soil emission volumes, measuring the concentration of a specific component – a tracer and surface scanning. The general description of the given groups of control methods is given. The newest direction is surface scanning, which is currently represented by two options: short-distance stereophotometric survey and laser 3D scanning. The latter is of increasing interest among the world community. Attempts are also being made to use Earth remote sensing data to identify and predict soil erosion, but so far the use of this method is controversial. Pollution from fields to water bodies is usually controlled in two ways: by sampling water from a water body or by sampling surface runoff. **Conclusions.** Monitoring of diffuse runoff is not only aimed to identify the amount of incoming pollutants and suspended solids, but will also contribute to decision-making and the development of measures and activities to improve the ecological state of catchments. Of the investigated methods currently used to monitor and record the effects of diffuse runoff from agricultural fields, the most suitable and easiest to implement one is runoff sites, and the most promising method for recording water erosion of soils will be 3D laser scanning.

**Key words:** diffuse runoff; water erosion of soil; consequences of diffusion runoff; soil removal volume; control methods; surface scanning; sample tests.

**Введение.** В рамках совещания, прошедшего 25 апреля 2019 г. в Комитете Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию, на тему: «Использование водных ресурсов в агропромышленном комплексе: основные риски и возможные решения» рассматривался вопрос о контроле поступления диффузных загрязнений с сельскохозяйственных территорий. В данном контексте Минсельхозу России было поручено рассмотреть возможность «создания службы экологического мониторинга эрозийных процессов и диффузного загрязнения водных объектов в зонах интенсивной сельскохозяйственной деятельности и интеграции его в систему Государственного мониторинга окружающей среды» [1]. Актуальность данной проблемы продиктована тем, что в настоящее время при выявлении негативных изменений в водных объектах службами Государственной системы мониторинга меры регулирования и контроля поступления загрязняющих веществ могут быть приняты только относительно организованных источников сброса, что является недостаточным для улучшения и стабилизации экологического состояния водного фонда страны.

Известно, что в качестве основных диффузных источников загрязне-

ния выделяют ливнестоки и стоки талых вод: 1) с территории населенных мест (городские и сельские поселения), 2) с территорий промышленных зон, предприятий, автопарков, ремонтных мастерских, строительных площадок и других производственных площадей, 3) с территории аграрных производственно-хозяйственных объектов (сельскохозяйственные поля и пастбища, животноводческие и птицеводческие комплексы). Из названных диффузных источников загрязнения, пожалуй, самым критичным является поступление поверхностного стока с сельскохозяйственных полей. Это связано как с самим состоянием поверхности земли, которая в среде жилой застройки или производственных площадок по большей части имеет нефилтующее покрытие либо достаточно сильно уплотнена (например, грунтовые дороги), так и с производственными процессами, сопровождающими возделывание культур на сельскохозяйственных землях (рыхление, боронование, вспашка, внесение удобрений, обработка растений пестицидами, орошение и пр.).

Проблемы регистрации выноса загрязняющих веществ с поверхностным стоком с площади водосборного бассейна и транспортирование их как по поверхности суши, так и в водные объекты уже длительное время рассматриваются и решаются мировым сообществом, однако до настоящего времени не разработана четкая система мониторинга этих загрязнений.

Целью исследования является обзор существующих в настоящее время методов наблюдения и регистрации эрозии почв и выноса загрязнений с сельскохозяйственных полей.

**Материалы и методы.** В качестве материалов исследования использовались данные Росгидромета и Минприроды России, труды российских и зарубежных ученых-исследователей.

В процессе изучения применялись методы анализа, статистической обработки и обобщения данных.

**Результаты и обсуждение.** Известно, что сельскохозяйственное ис-

пользование земель способствует ускорению эрозионных процессов, которые могут быть связаны со спецификой предпосевной обработки почв [2–4]. Вследствие этого может усиливаться перенос и перераспределение, а также вынос почвенных частиц с сельскохозяйственных полей в периоды формирования поверхностного стока вод в результате активного таяния снегов или выпадения значительного количества осадков. Особенная опасность выноса почвы с полей возникает в периоды отсутствия на ней растительности. Помимо почвы, с поверхностным стоком с полей выносятся применяемые в процессе производства агрохимикаты, биогенные вещества и остатки растений, семян и пр. По имеющимся данным, диффузное загрязнение с сельскохозяйственных полей вносит весомый вклад в валовое загрязнение водных объектов [5–7].

Основные проблемы, которые создает смыв почв поверхностным стоком вод, связаны:

- с потерями плодородного слоя самих почв, который восстанавливается в течение длительного периода времени или замещается вносимой органикой и удобрениями;

- вымыванием полезных для процесса возделывания сельскохозяйственных культур агрохимикатов и органики, к первым относятся минеральные удобрения, стимуляторы роста и пр., ко вторым – органические удобрения, био- и микоудобрения, растительные остатки;

- увеличением финансовых затрат на приобретение сопутствующих производству органических и минеральных удобрений;

- невозможностью с достаточной точностью произвести определение необходимых доз минеральных и органических удобрений, мелиорантов;

- загрязнением водных объектов биологическими и химическими веществами, выносимыми с полей [8–11];

- изменением органолептических свойств воды водных объектов;

- повышением показателей БПК и ХПК в водных объектах;

- увеличением количества наносов [11];
- усилением процессов эвтрофикации [9, 12, 13];
- дефицитом растворенного кислорода;
- изменением состава гидробионтов в связи с изменением химической и кислородной составляющей вод [14];
- изменением санитарно-гигиенического и экологического статуса вод [8–10];
- увеличением затрат на очистку воды перед использованием в отраслях экономики и для нужд населения.

Если говорить исключительно о выносе почв с полей в водные объекты с водным потоком (смыв) после таянья снегов, ливневых дождей, то здесь можно применять массу вариантов для его контроля. В настоящее время в целях регистрации водной эрозии используют ряд методов анализа, основные из которых приведены ниже.

*Измерение рельефных изменений.* В качестве примера данного вида методов анализа можно привести замер струйчатых размывов – «метод водоин», его еще называют «метод С. С. Соболева». В процессе использования данного метода через определенные расстояния вдоль склона (через 10, 20, 30 м в зависимости от его крутизны и рельефа местности) закладывают исследуемые участки. На участках выделяют размывы и (или) намывы, образовавшиеся в результате поверхностного стока, после чего производят замер длины, глубины и ширины образовавшихся струйчатых размывов и длины, высоты и ширины основания намывов. Используя полученные измерения, вычисляют объем смытой почвы на площади 0,1 га с учетом коэффициента извилистости струйчатых размывов, после чего, зная плотность почв, можно определить массу смытого грунта. Ряд авторов рекомендуют сочетать данный метод с почвенным картированием участков и замером мутности водного стока, что способствует повышению точности полученных данных [15–17]. В целом метод имеет большую погрешность,

что предполагает использование его в качестве предварительной оценки объемов смыва или для оперативного регистрирования последствий поверхностного стока. Для проведения более точных замеров можно использовать лазерную рулетку или лазерный дальномер (тахеометр). При этом наилучшие показатели будут получены, если разбить водороины и намоины (объекты исследования) на элементарные участки, на протяжении которых они будут сохранять более прямой контур. Замеры производить по каждому полученному элементарному участку объекта исследования (несомненно, такая детализация увеличит трудоемкость исполнения метода и время на его реализацию). Далее при использовании доступных возможностей расчета в программе Excel по данным элементарных участков объектов регистрации можно определить баланс почвы на исследуемой территории. При предложенном подходе погрешность метода определения можно свести к приемлемому минимуму.

*Измерение объемов выноса почв.* Для получения данных при этом методе анализа, как правило, применяются так называемые стоковые площадки, для устройства которых выбирают репрезентативные по орографическим характеристикам участки. По их периметру устраивают ограждения, которые могут быть выполнены как путем обвалования, так и с помощью различных конструктивных материалов (деревянные, пластмассовые, металлические, полимерные) в виде стенок или бордюров. В нижней части участка (по уклону) формируется лотковая водосборная борозда, в которую собирается поверхностный сток. Конструктивно борозда имеет уклон в сторону основного водоприемника, из которого и производится отбор проб с целью проведения дальнейшего анализа для оценки выноса почвенных частиц и в случае необходимости химического состава стока [16–18].

*Измерение концентрации специфического компонента – трассера.* Наиболее распространенным методом в данной группе является радиоизотопный метод, или метод трассировки радионуклидов, который достаточно

широко используется в последние годы и помогает получить значительные результаты в количественном исследовании выноса почв в процессе ее эрозии [16, 17, 19]. Этот метод относится к непрямым методам исследования, когда о масштабах переноса и выноса почв судят по регистрации распределения и концентрирования специфических микрокомпонентов, таких как, например, изотоп  $^{137}\text{Cs}$ . Для осуществления метода принят ряд допущений. Предположительно считается, что в нормальных условиях выпадение этого изотопа из атмосферы является величиной постоянной, а сельскохозяйственная обработка почв способствует его равномерному распределению в пахотном слое. Попадая в почву, изотоп прочно сорбируется ее поглощающим комплексом и практически не мигрирует по профилю. Соответственно, при миграции почвенных частиц будет изменяться концентрация изотопа. Оценить ее количественное изменение можно по имеющимся ранее замерам или путем сравнения с содержанием изотопа в эталонном образце для конкретного вида исследуемой почвы. Для определения потерь почвы с применением регистрации изотопа И. В. Якимовой (1988) предложена зависимость:

$$\Delta h = \left( 1 - x^{\frac{1}{n}} \right) \cdot H ,$$

где  $\Delta h$  – потери пахотного слоя почвы, см;

$x$  – концентрация измеряемого изотопа в долях от эталонного значения;

$n$  – количество лет, прошедших от определения концентрации в эталонном образце до времени проведения анализа;

$H$  – мощность пахотного слоя, см [17].

Несмотря на достаточно высокую точность данного метода и его широкое распространение, следует отметить, что процесс его проведения является достаточно сложным, требует предварительной подготовки проб, выбора соответствующего трассера, наличия данных более ранних исследований с регистрацией выбранного специфического компонента (либо

эталонных данных, получение которых может быть затруднительным в контексте ряда техногенных явлений), имеется необходимость в пересчете изменения активности изотопов с учетом времени их пребывания и т. д.

*Наземное сканирование.* Этот вид замеров осуществляется бесконтактно (дистанционно) с использованием электромагнитных волн различной области частот. Примером такого сканирования может служить метод короткодистанционной стереофотометрической съемки, при котором сканирование объекта производят в видимом диапазоне электромагнитных излучений путем последовательного фотографирования местности и сравнения полученных снимков. Использование этого метода ограничено, он применяется для оценки рельефа небольших участков. Другой пример наземного сканирования – лазерное 3D-сканирование для мониторинга потерь почв в результате эрозии. При данном методе лазерный сканер устанавливается в точке с заранее определенными координатами, после чего осуществляется сканирование поверхности исследуемого участка. С помощью современных лазерных сканеров за короткое время можно получить облако трехмерных точек поверхности и составить карту рельефа участка с допустимой точностью измерений. Целесообразно лазерное сканирование проводить до и после воздействия поверхностного стока либо с его помощью осуществлять динамичное картирование участка. В настоящее время данный метод имеет еще незначительную по количеству исследований апробацию в изучении поверхностной эрозии почв под действием диффузионного стока. Однако, по имеющимся данным о его применении в геологии и геодезии, с помощью технологии лазерного сканирования можно получить ортофотопланы, цифровые модели рельефа и местности, трехмерные векторные модели местности и объектов, а также результаты различных расчетов, связанных с геометрическими характеристиками объектов [20]. В настоящее время за рубежом идет активное изучение диапазонных возможностей применения данного метода для дистан-

ционной регистрации эрозии почв. Так, по данным А. Афана и др. (2010) в условиях полевой апробации, точность данных, полученных в результате применения лазерного 3D-сканирования, зависит от инструмента и типа программного обеспечения [21]. При изучении с помощью лазерного сканирования эрозионных процессов в лесной горной зоне водосбора в Западно-Судетских горах в Польше (Р. В. Dańbek и др., 2014, 2018) при разрешении  $5 \times 5$  мм на расстоянии 10 м точность результатов сканирования составила  $\pm 3$  мм [22, 23]. В экспериментах со сканированием склонов до и после дождевания стоковых площадок с различной интенсивностью осадков при сравнении полученных результатов 3D-сканирования с результатами непосредственного отбора стока и лабораторного исследования выявленная погрешность (отклонение данных сканирования от лабораторных исследований) находилась в пределах  $\pm 4$  % [24].

*Данные дистанционного зондирования Земли.* Применение данных дистанционного зондирования Земли (далее – ДЗЗ), полученных в результате снимков, произведенных с искусственных спутников, в различных спектральных диапазонах, для выявления масштабов выноса веществ с водосборной территории в водный объект пока является спорным. В настоящее время оценку поверхностной эрозии почв можно было бы производить по результатам анализа величины гумусового слоя, который, несомненно, будет изменяться в зависимости от выноса его с поверхностным стоком. Однако до настоящего времени не существует единодушного мнения о взаимосвязи между спектральной отражательной способностью почв и величиной гумусового слоя. Так, например, в исследованиях Л. С. Гальвао (2005) [25] были использованы данные гиперспектрального сенсора AVIRIS для картографирования свойств почвы, в результате чего было отмечено, что спектральная отражательная способность почв изменяется в зависимости от содержания соединений железа и алюминия, а содержание гумуса оказывает незначительное влияние. Исследования В. А. Генина (2018) [26],

в основу которых была положена оценка возможности картографирования количественных значений гумуса в почвах по данным дистанционных снимков, полученных со спутников компании Planet, показали, что существует достаточная для этих целей корреляционная связь между значениями яркостей пикселей, получаемых с использованием данных ДЗЗ, и содержанием гумуса в почве. Наилучшие показатели зависимости были получены с использованием ближнего инфракрасного спектра<sup>1</sup>. Подобные зависимости были выявлены и рядом других авторов [26–30].

Загрязнения, поступающие с полей в водные объекты, в настоящее время принято контролировать двумя способами: отбором проб поверхностного стока либо отбором проб вод водного объекта. Обычно для получения более четкой картины влияния сельскохозяйственного производства на состояние водных объектов совмещают оба пробоотбора.

В первом варианте используется уже описанный метод стоковых площадок, при котором отобранные пробы поверхностного стока анализируют не только для оценки количества взвешенных веществ (почвенных частиц), но и для выявления содержания в них химических компонентов, характерных для сельскохозяйственного производства на исследуемых территориях.

В другом варианте производят отбор проб непосредственно из водного объекта в зоне влияния поверхностного стока с сельскохозяйственных полей и сравнивают с пробами, отобранными выше по течению. При отборе проб из водного объекта контролируют количество растворенных в воде консервативных и неконсервативных веществ, взвешенных веществ, количество растворенного кислорода и БПК, количество иловых отложений.

На практике наилучший результат будет давать совместное исполь-

---

<sup>1</sup> Сергеева, О. С. Использование спектральной отражательной способности почв и агрофитоценозов для мониторинга плодородия почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.13 / Сергеева Ольга Сергеевна. – Тюмень, 2011. – 20 с.

зование обоих методов контроля, если дополнять их отбором и анализом проб подземных вод и атмосферных осадков. Как подчеркивает Н. И. Коронкевич (2017) [31], вынос поллютантов с сельскохозяйственных полей происходит не только с поверхностным стоком, но и с той частью стока, которая профильтровалась в почвенный массив и распределилась между почвенным и грунтовым стоком. По наблюдениям В. Е. Закруткина и др. (2004), в летне-осенний период экстремально высокая концентрация биогенов (нитратов, нитритов, аммонийного азота, фосфатов) обнаружена именно в подземных водах, что характерно для зон активного сельскохозяйственного использования [32]. При транспортировании загрязнений профильтрованным стоком их можно определить только отбором проб из водных источников (при совместном контроле состава грунтовых вод), а использование только стоковых площадок не даст полной картины. Так, по данным, полученным в результате многолетних наблюдений за поверхностным стоком талых вод, отмечено, что на его количество влияет система обработки почв и наличие на ней посевов озимых культур [33, 34]. При этом А. И. Петелько, В. И. Панов (2014) указывают на то, что сток талых вод на зяби по шкале интенсивности Г. П. Сурмача большей частью слабый, более того, из 50 лет проводимых наблюдений на обыкновенных черноземах степного Заволжья стока с зяби не было 28 лет. Этими и другими авторами отмечено, что уменьшение стока с зяби обеспечивается за счет хорошего впитывания талой воды [33–35]. Особенно это характерно для засушливых регионов. Данная тенденция усилилась в первом десятилетии текущего века, что, по предположению ученых, вызвано потеплением климата [33, 35, 36]. Соответственно, контроль за выносом загрязняющих веществ с сельскохозяйственных территорий, расположенных в пределах водосборного бассейна рек, должен осуществляться комплексно с учетом всех возможных вариантов их передвижения.

Для адекватной оценки данных мониторинга необходима тщательная

подготовка и сбор дополнительной информации, которую рекомендуется собирать до начала проведения исследований:

- климатические данные;
- вид землепользования;
- топографическая и гидрологическая информация;
- физико-химические свойства почвы;
- системы возделывания сельскохозяйственных культур;
- виды растений в районе;
- количество и виды химических веществ, применяемых на обследуемых сельскохозяйственных землях (удобрения и пестициды, используемые в зоне мониторинга);
- виды и численность поголовья сельскохозяйственных животных (в случае обследования земель, отведенных под их выпас).

От достоверности и необходимой детализации указанной информации будет зависеть возможность правильной интерпретации полученных результатов наблюдения.

**Выводы.** Мониторинг диффузионного стока с водосбора водных объектов не только призван выявить количество поступающих поллютантов и взвешенных веществ, но и будет способствовать принятию решений и разработке мер и мероприятий по улучшению экологического состояния водосборов.

Из числа исследованных методов, применяемых в настоящее время для наблюдения и регистрации последствий диффузионного стока с сельскохозяйственных полей, наиболее приемлемым и простым в осуществлении является метод стоковых площадок, который следует использовать совместно с контролем содержания загрязняющих веществ в водном объекте, подземных водах и в атмосферных осадках, что позволит осуществить более точную дифференциацию загрязняющих веществ по источникам их поступления.

При дальнейшем развитии мониторинговых систем и улучшении оснащения лабораторий и служб мониторинга наиболее перспективным методом для регистрации водной эрозии почв будет являться лазерное 3D-сканирование, с помощью которого можно оценить более точное количество вынесенных с полей почв. Количество загрязнений, вынесенных с почвой, в данном варианте можно определить, получив данные о среднем содержании в ней питательных веществ и поллютантов.

### **Список использованных источников**

1 Совещание «Использование водных ресурсов в агропромышленном комплексе: основные риски и возможные решения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://agrarian.council.gov.ru/activity/activities/other\\_activities/105005/](http://agrarian.council.gov.ru/activity/activities/other_activities/105005/), 2020.

2 Литвин, Л. Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л. Ф. Литвин. – М.: Академкнига, 2002. – 255 с.

3 Лисецкий, Ф. Н. Ресурсы и эрозионные потери почв / Ф. Н. Лисецкий, О. А. Маринина // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 4. – С. 59–65.

4 Ларионов, Г. А. Эрозия и дефляция почв / Г. А. Ларионов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 200 с.

5 Михайлов, С. А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: аналит. обзор / С. А. Михайлов; СО РАН, ГПНТБ, Ин-т вод. и экол. проблем. – Барнаул: День, 2000. – 130 с.

6 Факторы влияния диффузного загрязнения на водные объекты / Л. Д. Раткович, В. Н. Маркин, И. В. Глазунова, С. А. Соколова // Природообустройство. – 2016. – № 3. – С. 64–75.

7 Петелько, А. И. Влияние агрофона на сток талых вод / А. И. Петелько, О. В. Богачев // Двадцать четвертое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: науч. сб. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. – С. 166–169.

8 Методические указания для органов санитарно-эпидемиологической службы по санитарной охране водоемов от загрязнения пестицидами в связи с применением их в сельском хозяйстве: утв. зам. Гл. санитар. врача СССР 17 апреля 1970 г. // Гарант Эксперт 2020 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2020.

9 Хендерсон-Селлерс, Б. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Б. Хендерсон-Селлерс, Х. Р. Маркленд; пер. с англ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 279 с.

10 Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen / S. R. Carpenter, N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth // Ecological Society of America. – 1998. – № 8(3). – P. 559–568. – DOI: 10.2307/2641247.

11 Мушаева, Т. И. Закономерности формирования поверхностного стока и смыва почвы в период весеннего снеготаяния на территории агроландшафта и их влияние на качество речных вод / Т. И. Мушаева, В. В. Демидов // Живые и биокосные системы [Электронный ресурс]. – 2015. – № 11. – 9 с. – Режим доступа: <http://www.jbks.ru/archive/issue-11/article-9>.

12 Bennett, E. M. Human impact on erodible phosphorus and eutrophication: A global perspective / E. M. Bennett, S. R. Carpenter, N. F. Caraco // Bioscience. – 2001. – № 51(3). – P. 227–234. – DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0227:НЮЕРА\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0227:НЮЕРА]2.0.CO;2).

13 Kyriakeas, S. A. Effects of adjacent agricultural activities and watershed characteristics on stream macroinvertebrates communities / S. A. Kyriakeas, M. C. Watzin // *Journal of the American Water Resources Association*. – 2006. – № 42. – P. 425–441. – DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb03848.x>.

14 Алимов, А. Ф. Эвтрофирование водоемов и структура сообщества гидробионтов / А. Ф. Алимов, М. С. Голубков // *Биология внутренних вод*. – 2014. – № 3. – С. 5–11.

15 Гэбриэлс, Д. Определение потерь почвы и экспериментальные исследования / Д. Гэбриэлс, Дж. Плой // *Эрозия почвы*. – М.: Колос, 1984. – С. 96–155.

16 Егоров, И. Е. Полевые методы изучения почвенной эрозии / И. Е. Егоров // *Вестник Удмуртского университета*. – 2009. – № 1. – С. 157–169.

17 Методология изучения эрозионных процессов в лесоаграрных и техногенных ландшафтах / К. Н. Кулик, А. Р. Зубов, И. Г. Зыков, А. А. Зубов; ФНЦ агроэкологии РАН. – Волгоград, 2018. – 252 с.

18 Методика дождевания стоковых площадок для исследования эрозионных процессов / Ю. П. Сухановский, А. И. Санжаров, О. Г. Чуян, Е. П. Проценко, Н. В. Рязанцева, А. А. Проценко, С. С. Балабанов, В. Б. Горин. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2005. – 30 с.

19 Разработка метода разновозрастных трассеров для оценки стадийности почвенно-эрозионных процессов / А. Н. Геннадиев, В. Н. Голосов, М. В. Маркелов, С. С. Чернянский, Р. Г. Ковач, В. Р. Беляев // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. – 2008. – № 3. – С. 24–31.

20 Лазерное 3D сканирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://laser-portal.ru/content\\_685](http://laser-portal.ru/content_685), 2020.

21 Afana, A. Determination of soil erosion using laser scanners / A. Afana, A. Sole-Benet, J. Perez // *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, 1–6 Aug. 2010, Brisbane, Australia. – P. 39–42.

22 Analysis of water erosion processes using terrestrial laser scanning / P. B. Dąbek, R. Żmuda, B. Ćmielewski, J. Szczepański // *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. – 2014. – Vol. 11, № 1(173). – P. 45–52. – DOI: 10.13168/AGG.2013.0054.

23 The use of terrestrial laser scanning in monitoring and analyses of erosion phenomena in natural and anthropogenically transformed areas / P. B. Dąbek, B. Ćmielewski, C. Patrzalek, R. Żmuda // *Cogent Geoscience*. – 2018. – № 4. – 18 p. – DOI: 10.1080/23312041.2018.1437684.

24 Wang, P. Application of Handheld 3D Scanner in Quantitative Study of Slope Soil Erosion / P. Wang, X. Jin, S. Li // *2nd International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – 8 p. – DOI: 10.1088/1755-1315/170/2/022178.

25 Galvao, L. S. Variations in reflectance of tropical soils: Spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data / L. S. Galvao, M. A. Pizarro, J. C. Epiphanyo // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – № 75. – P. 245–255.

26 Генин, В. А. Методические подходы к картографированию содержания гумуса по данным дистанционного зондирования Земли / В. А. Генин // *Почвоведение и агрохимия*. – 2018. – № 2(61). – С. 32–42.

27 Кравцов, С. Л. Оценка концентрации органических веществ в почве методами дистанционного зондирования Земли / С. Л. Кравцов, Л. В. Орешкина // *Информатика*. – 2009. – № 24(4). – С. 124–133.

28 Estimating soil organic carbon from soil reflectance: a review / L. Moslem, A. Hosein, S. Bahrami, A. Kazem // *Precision Agriculture*. – 2010. – № 11. – P. 82–99.

29 Расчет содержания гумуса с использованием данных дистанционного зондирования Земли / В. А. Малышевский, Ю. П. Федулов, Н. В. Островский, И. А. Лебедевский // *Научный журнал КубГАУ*. – 2013. – № 92(08). – С. 112–115.

30 Связь между содержанием гумуса в пахотном горизонте серой лесной почвы

и яркостью в красном канале спутникового изображения / Д. Г. Кротов, В. П. Самсонова, Е. А. Кротова, Е. Ю. Лавринова // *Агрехимический вестник*. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 11–14.

31 Коронкевич, Н. И. Сток с водосбора как источник диффузного загрязнения рек / Н. И. Коронкевич, С. В. Долгов // *Вода и экология: проблемы и решения*. – 2017. – № 4(72). – С. 103–111.

32 Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области) / В. Е. Закруткин, Н. И. Коронкевич, Д. Ю. Шишкина, С. В. Долгов. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2004. – 252 с.

33 Петелько, А. И. Характеристика поверхностного стока талых вод с разных угодий за 50 лет / А. И. Петелько, В. И. Панов // *Вестник АПК Ставрополя*. – 2014. – № 4(16). – С. 155–162.

34 Полуэктов, Е. В. Сток талых вод с различной по степени уплотненности пашни / Е. В. Полуэктов // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации* [Электронный ресурс]. – 2015. – № 3(19). – С. 139–149. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=351&id=362>.

35 Петелько, А. И. Влияние основных природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод в лесомелиоративных агроландшафтах в лесостепной и степной зонах в Европейской части России / А. И. Петелько, В. И. Панов // *Научные ведомости*. – 2019. – Т. 43, № 1. – С. 16–29. – DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29.

36 Медведев, И. Ф. Современная оценка и тенденции климатических изменений поверхностного стока на черноземных почвах / И. Ф. Медведев, Н. Г. Левицкая, Н. И. Стрижков // *Аграрный научный журнал*. – 2016. – № 4. – С. 19–24.

## References

1 *Soveshchanie "Ispol'zovanie vodnykh resursov v agropromyshlennom komplekse: osnovnye riski i vozmozhnye resheniya"* [Meeting "Use of Water Resources in the Agricultural Sector: the Main Risks and Possible Solutions"], available: [http://agrarian.council.gov.ru/activity/activities/other\\_activities/105005/](http://agrarian.council.gov.ru/activity/activities/other_activities/105005/) [accessed 2020]. (In Russian).

2 Litvin L.F., 2002. *Geografiya erozii pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel' Rossii* [Geography of Soil Erosion on Agricultural Lands of Russia]. Moscow, Academic Book Publ., 255 p. (In Russian).

3 Lisetskiy F.N., Marinina O.A., 2011. *Resursy i erozionnye poteri pochv* [Resources and Erosion Soil Losses]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], no. 4, pp. 59-65. (In Russian).

4 Larionov G.A., 1993. *Eroziya i deflyatsiya pochv* [Erosion and Soil Deflation]. Moscow, Moscow University Publ., 200 p. (In Russian).

5 Mikhailov S.A., 2000. *Diffuznoe zagryaznenie vodnykh ekosistem. Metody otsenki i matematicheskie modeli: analiticheskiy obzor* [Diffuse Pollution of Aquatic Ecosystems. Assessment Methods and Mathematical Models: Analytical Review]. SB RAS, SPSL, Institute of Water and Ecological Problems. Barnaul, Day Publ., 130 p. (In Russian).

6 Ratkovich L.D., Markin V.N., Glazunova I.V., Sokolova S.A., 2016. *Faktory vliyaniya diffuznogo zagryazneniya na vodnye ob'ekty* [Factors of the influence of diffuse pollution on water bodies]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 3, pp. 64-75. (In Russian).

7 Petel'ko A.I., Bogachev O.V., 2009. *Vliyanie agrofona na stok talykh vod* [Influence of the agricultural background on the snowmelt runoff]. *Dvadsat' chetvertoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinatsionnoe soveshchanie po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov: nauchnyy sbornik* [Proc. Twenty-fourth Plenary Inter-University Coordination Meeting on the Problem of Erosion, Channel and Estuarial Processes]. Barnaul, Altay State University Publ., pp. 166-169. (In Russian).

8 *Metodicheskie ukazaniya dlya organov sanitarno-epidemiologicheskoy sluzhby po sanitarnoy okhrane vodoemov ot zagryazneniya pestitsidami v svyazi s primeneniem ikh v sel'skom khozyaystve* [Guidelines for Bodies of the Sanitary-Epidemiological Service for the Sanitary Protection of Ponds from Pollution by Pesticides in Connection with their Use in Agriculture]. April 17, 1970. (In Russian).

9 Henderson-Sellers B., Markland H.R., 1990. *Umirayushchie ozera. Prichiny i kontrol' antropogenogo evtrofirovaniya* [Decaying Lakes: Origins and Control of Eutrophication]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 279 p. (In Russian).

10 Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Society of America*, no. 8(3), pp. 559-568, DOI: 10.2307/2641247.

11 Mushaeva T.I., Demidov V.V., 2015. *Zakonomernosti formirovaniya poverkhnostnogo stoka i smyva pochvy v period vesennego snegotayaniya na territorii agrolandshafta i ikh vliyanie na kachestvo rechnykh vod* [Regularities of formation and erosion processes during spring snowmelt on the territory of agrolandscape and their impact on the quality of river water]. *Zhivye i biokosnye sistemy* [Living and Biocos Systems], no. 11, 9 p., available: <http://www.jbks.ru/archive/issue-11/article-9>. (In Russian).

12 Bennett E.M., Carpenter S.R., Caraco N.F., 2001. Human impact on erodible phosphorus and eutrophication: A global perspective. *Bioscience*, no. 51(3), pp. 227-234, DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0227:HIOEPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0227:HIOEPA]2.0.CO;2).

13 Kyriakeas S.A., Watzin M.C., 2006. Effects of adjacent agricultural activities and watershed characteristics on stream macroinvertebrates communities. *Journal of the American Water Resources Association*, no. 42, pp. 425-441, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb03848.x>.

14 Alimov A.F., Golubkov M.S., 2014. *Evtrofirovanie vodoemov i struktura soobshchestva gidrobiontov* [Lake eutrophication and hydrobionts community structure]. *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland Water Biology], no. 3, pp. 5-11. (In Russian).

15 Gabriels D., Ploy J., 1984. *Opreделение poter' pochvy i eksperimental'nye issledovaniya* [Determination of soil loss and experimental studies]. *Eroziya pochvy* [Soil Erosion]. Moscow, Kolos Publ., pp. 96-155. (In Russian).

16 Egorov I.E., 2009. *Polevye metody izucheniya pochvennoy erozii* [Field methods for studying soil erosion]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta* [Bull. of Udmurt University], no. 1, pp. 157-169. (In Russian).

17 Kulik K.N., Zubov A.R., Zykov I.G., Zubov A.A., 2018. *Metodologiya izucheniya erozionnykh protsessov v lesoagrarnykh i tekhnogennykh landshaftakh* [Methodology for the Study the Erosion Processes in Forest and Man-Made Landscapes]. FSC Agroecology RAS. Volgograd, 252 p. (In Russian).

18 Sukhanovsky Yu.P., Sanzharov A.I., Chuyan O.G., Protsenko E.P., Ryazantseva N.V., Protsenko A.A., Balabanov S.S., Gorin V.B., 2005. *Metodika dozhdevaniya stokovykh ploshchadok dlya issledovaniya erozionnykh protsessov* [The Sprinkling Technique of Runoff Sites for the Study of Erosion Processes]. Kursk, VNIIZiZPE RAAS, 30 p. (In Russian).

19 Gennadiev A.N., Golosov V.N., Markelov M.V., Chernyansky S.S., Kovach R.G., Belyaev V.R., 2008. *Razrabotka metoda raznovozrastnykh trasserov dlya otsenki stadiynosti pochvenno-erozionnykh protsessov* [Development of Multi-Age Tracer Method for Evaluation of the Sequence of Stages in Soil-Erosion Processes]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bull. of Moscow University. Series 5: Geography], no. 3, pp. 24-31. (In Russian).

20 *Lazernoe 3D skanirovanie* [Laser 3D Scanning], available: [http://laser-portal.ru/content\\_685](http://laser-portal.ru/content_685) [accessed 2020]. (In Russian).

21 Afana A., Sole-Benet A., Perez J., 2010. Determination of soil erosion using laser scanners. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1–6 Aug. Brisbane, Australia, pp. 39-42.

22 Dąbek B., Żmuda R., Ćmielewski B., Szczepański J., 2014. Analysis of water erosion processes using terrestrial laser scanning. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, vol. 11, no. 1(173), pp. 45-52, DOI: 10.13168/AGG.2013.0054.

23 Dąbek P.B., Ćmielewski B., Patrzalek C., Żmuda R., 2018. The use of terrestrial laser scanning in monitoring and analyses of erosion phenomena in natural and anthropogenically transformed areas. *Cogent Geoscience*, no. 4, 18 p., DOI: 10.1080/23312041.2018.1437684.

24 Wang P., Jin X., Li S., 2018. Application of Handheld 3D Scanner in Quantitative Study of Slope Soil Erosion. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 8 p., DOI: 10.1088/1755-1315/170/2/022178.

25 Galvao L.S., Pizarro M.A., Epiphanyo J.C., 2010. Variations in reflectance of tropical soils: Spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, no. 75, pp. 245-255.

26 Genin V.A., 2018. *Metodicheskie podkhody k kartografirovaniyu sodержaniya gumusa po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Methodological approaches to mapping the content of humus using remote sensing data]. *Pochvovedenie i agrokimiya* [Soil Science and Agricultural Chemistry], no. 2(61), pp. 32-42. (In Russian).

27 Kravtsov S.L., Oreshkina L.V., 2009. *Otsenka kontsentratsii organicheskikh veshchestv v pochve metodami distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Assessment of the concentration of organic substances in soil with use of remote sensing of the Earth methods]. *Informatika* [Informatics], no. 24(4), pp. 124-133. (In Russian).

28 Moslem L., Hosein A., Bahrami S., Kazem A., 2010. Estimating soil organic carbon from soil reflectance: a review. *Precision Agriculture*, no. 11, pp. 82-99.

29 Malyshevsky V.A., Fedulov Yu.P., Ostrovsky N.V., Lebedovsky I.A., 2013. *Raschet sodержaniya gumusa s ispol'zovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Humus content calculation with use of remote sensing of the earth]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific Journal KubSAU], no. 92(08), pp. 112-115. (In Russian).

30 Krotov D.G., Samsonova V.P., Krotova E.A., Lavrinova E.Yu., 2017. *Svyaz' mezhdu sodержaniem gumusa v pakhotnom gorizonte seroy lesnoy pochvy i yarkost'yu v krasnom kanale sputnikovogo izobrazheniya* [Relationship between the humus content in arable horizon of gray forest soil and the brightness of the red channel of satellite images]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bull.], vol. 1, no. 1, pp. 11-14. (In Russian).

31 Koronkevich N.I., Dolgov S.V., 2017. *Stok s vodosbora kak istochnik diffuznogo zagryazneniya rek* [The runoff from a watershed as a source of diffuse river pollution]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and Ecology: Problems and Solutions], no. 4(72), pp. 103-111. (In Russian).

32 Zakrutkin V.E., Koronkevich N.I., Shishkina D.Yu., Dolgov S.V., 2004. *Zakonomernosti antropogennoogo preobrazovaniya malykh vodosborov stepnoy zony Yuga Rossii (v predelakh Rostovskoy oblasti)* [Anthropogenic Transformation of Small Watersheds in the Steppe Zone of Southern Russia within Rostov Region]. Rostov-on-Don, Rostov University Publ., 252 p. (In Russian).

33 Petel'ko A.I., Panov V.I., 2014. *Kharakteristika poverkhnostnogo stoka talykh vod s raznykh ugodiy za 50 let* [Characteristic of meltwater overland runoff from different fields over 50 years]. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bull. of the Stavropol Agro-Industrial Complex], no. 4(16), pp. 155-162. (In Russian).

34 Poluektov E.V., 2015. [The snowmelt runoff from arable land of varying degrees of compaction]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(19), pp. 139-149, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=351&id=362>. (In Russian).

35 Petel'ko A.I., Panov V.I., 2019. *Vliyanie osnovnykh prirodnykh faktorov na formirovanie poverkhnostnogo stoka talykh vod v lesomeliorativnykh agrolandshaftakh v lesostepnoy i stepnoy zonakh v Evropeyskoy chasti Rossii* [The Influence of the Main Natural Factors

on the Formation of Surface Flow of Melt Water in Forest-Reclaimed Agricultural Landscapes in the Forest-Steppe and Steppe Zones of the European Part of Russia]. *Nauchnye vedomosti* [Scientific Bull.], vol. 43, no. 1, pp. 16-29, DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29. (In Russian).

36 Medvedev I.F., Levitskaya N.G., Strizhkov N.I., 2016. *Sovremennaya otsenka i tendentsii klimaticheskikh izmeneniy poverkhnostnogo stoka na chernozemnykh pochvakh* [Modern assessment and trends of climatic changes in surface runoff in chernozem soils]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 4, pp. 19-24. (In Russian).

---

**Манжина Светлана Александровна**

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: старший научный сотрудник

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

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

E-mail: rosniipm@yandex.ru

**Manzhina Svetlana Aleksandrovna**

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: rosniipm@yandex.ru