

**Д. Г. Васильев, В. Ц. Челахов, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев**

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

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДРЕНАЖНОГО СТОКА ПРИ ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ**

**Цель:** оценка экологической безопасности орошения дренажными водами черноземов с учетом особенностей распределения загрязняющих веществ в профиле почвы. **Материалы и методы.** Площадь орошаемого участка 50 га. Участок исследований расположен в третьей Приманычской зоне на первой надпойменной террасе р. Маныч. Преобладающими почвами являются предкавказские черноземы, выщелоченные, большей частью средне- и сильно засоленные, с пятнами солонцов с солончаками 25–50 %. Глубина залегания грунтовых вод 0,8–2,1 м. Динамика минерализации грунтовых вод по большинству скважин носит стабильный характер. Содержание сухого остатка не превышает 6 г/дм<sup>3</sup>, токсичных солей 1,5 г/дм<sup>3</sup> и хлоридов 0,2 г/дм<sup>3</sup>. **Результаты.** Проведенными лабораторными исследованиями качества дренажных вод (июнь 2018 г.) установлено, что дренажные воды закрытой сети по минерализации имеют ограниченное применение в орошении в сравнении с их сбором открытой сетью. Так, допустимая минерализация превышена в дренажном стоке закрытой оросительной сети х. Ленинского Веселовского района. Согласно проведенному анализу, концентрация загрязняющих веществ начинает расти на третий год полива, на второй год наблюдается небольшое снижение (в среднем на 10 %) суммы ионов калия и натрия (с 2,2089 до 2,2057 г/дм<sup>3</sup>), магния – с 2,2744 до 2,2742 г/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатов – с 0,8738 до 0,8723 г/дм<sup>3</sup>. **Заключение.** Проведенные исследования показали, что применение неподготовленного дренажного стока при орошении сельскохозяйственных угодий будет способствовать накоплению загрязняющих веществ в грунтовых водах и росту экологической нагрузки на природную среду.

**Ключевые слова:** дренажный сток; загрязняющее вещество; концентрация; орошение; черноземы.

**D. G. Vasilyev, V. Ts. Chelakhov, Yu. Ye. Domashenko, S. M. Vasilyev**

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

## **ECOLOGICAL JUSTIFICATION OF DRAINAGE FLOW APPLICATION WHEN IRRIGATING AGRICULTURAL LANDS**

**Objective:** assessment environmental safety of irrigation with drainage water of chernozem, taking into account the characteristics of pollutants distribution in soil profile. **Materials and Methods.** The irrigated area is 50 ha. The research site is located in the third Primanychsky area on the first floodplain terrace of the river Manych. The predominant soils are the Pre-Caucasian leached, mostly medium- and highly saline chernozems with scabby land and solonchaks 25–50 %. The groundwater depth is 0.8–2.1 m. The dynamics of groundwater salinity in most wells is stable. The solids content does not exceed



6 g per dm<sup>3</sup>, toxic salts of 1.5 g per dm<sup>3</sup> and chlorides of 0.2 g per dm<sup>3</sup>. **Results.** Laboratory studies of drainage water quality (June 2018) found that drainage water of a closed network has a limited use by salinity in irrigation compared to its collection of an open network. So, the permissible mineralization is exceeded in the drainage flow of a closed irrigation network khutor Leninsky Veselovsky district. According to the analysis the concentration of pollutants begins to increase in the third year of irrigation, in the second year there is a slight decrease (on average by 10 %) in the amount of potassium and sodium ions (from 2.2089 to 2.2057 g per dm<sup>3</sup>), magnesium – from 2.2744 to 2.2742 g per dm<sup>3</sup>, hydrocarbonates – from 0.8738 to 0.8723 g per dm<sup>3</sup>. **Conclusion.** Studies have shown that the use of untreated drainage flow at irrigation of agricultural land will contribute to the accumulation of pollutants in groundwater and increase of the ecosystem load.

**Key words:** drainage flow; pollutant; concentration; irrigation; chernozems.

**Введение.** Наиболее типичный вид загрязнения практически всех компонентов окружающей природной среды на сельскохозяйственных территориях любой страны – вносимые удобрения, способствующие засолению почвенного профиля и, как следствие, закономерному повышению ионной концентрации дренажных вод на осушаемых почвах [1–3]. Внесение аммиачных удобрений перед посевом или осенью увеличивает содержание азота в дренажных водах в 2–3 раза, а это около 16,8 кг/га азота. При внесении минеральных удобрений концентрация хлора в дренажных водах увеличивается с 13,1 до 31,7 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное содержание сульфатов отмечается в весенний период в количестве 720,6 мг/дм<sup>3</sup> [4].

Согласно существующей оценке влияния гидрогеологических факторов на подземные воды, проводимой по значениям инфильтрационного питания, минерализации, типу водообмена и скорости перемещения подземных вод, почти вся Ростовская область подвержена воздействию в значительной степени, за исключением северо-восточной и южной приграничной территории, где степень воздействия уменьшается до средней [5].

Для оросительных систем характерен процесс возрастания притока напорных вод при снижении уровней грунтовых вод. В пределах надпойменных террас долин рек, отделенных от грунтового питания слоем глины мощностью 10–15 м, переток грунтовых вод осуществляется довольно равномерно в течение всего межвегетационного периода. Тогда как с началом вегетационного периода, за счет потерь через оросительные каналы,

уровни грунтовых вод повышаются при сохранении пьезометрической поверхности на более низких отметках, что и создает условия для перетока грунтовых вод в нижние слои. Вследствие неравномерного орошения некоторые поверхностные воды мигрируют в грунтовые воды гораздо быстрее. Данный процесс способствует естественному смешению в пределах дренажного участка грунтовых и напорных вод, которые имеют различную степень загрязнения, и это способствует формированию дренажного стока с ограниченным применением для целей орошения [6–8].

Целью работы является оценка экологической безопасности орошения дренажными водами черноземов с учетом особенностей распределения загрязняющих веществ в профиле почвы.

**Материалы и методы исследований.** Площадь орошаемого участка 50 га (50000 м<sup>2</sup>) с геометрическими размерами в плане 100 × 500 м. Участок исследований расположен в третьей Приманыческой зоне на первой надпойменной террасе р. Маныч в пределах развития четвертичных суглинков, залегающих на песчано-глинистых аллювиально-морских отложениях, характеризующихся тяжелым механическим составом покровных образований. Преобладающими почвами являются предкавказские черноземы, выщелоченные, большей частью средне- и сильно засоленные, с пятнами солонцов с солончаками 25–50 %.

Химический состав водных вытяжек почвогрунтов представлен в таблице 1.

**Таблица 1 – Химический состав водных вытяжек почвогрунтов**

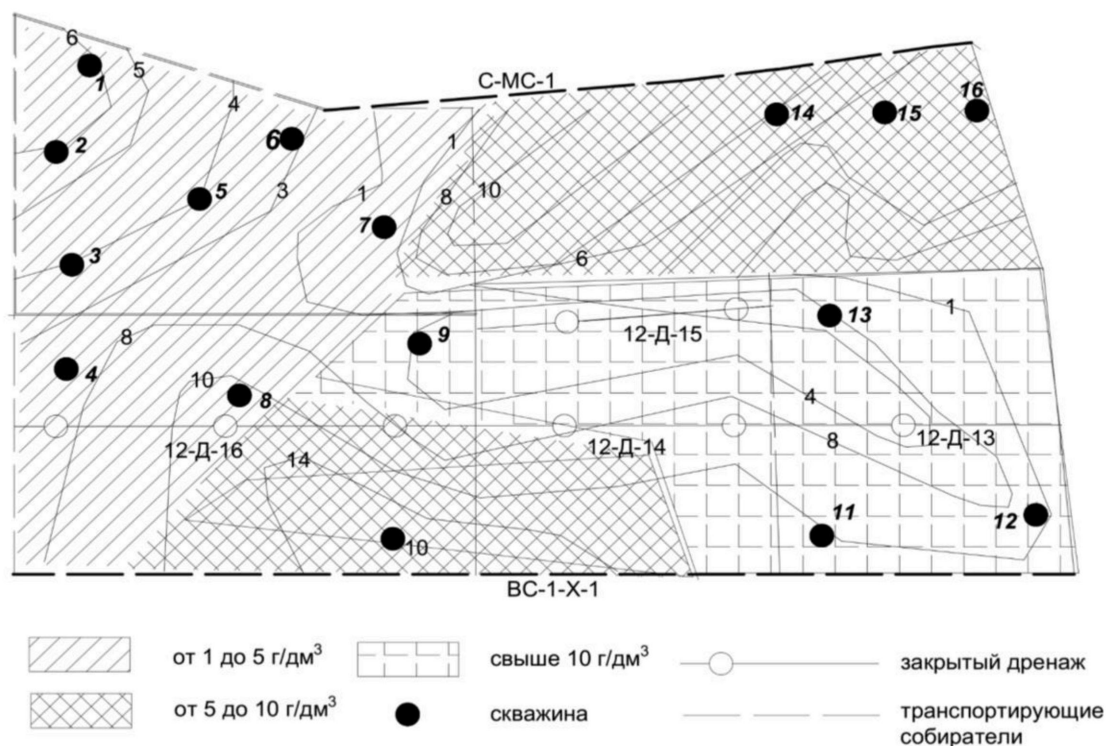
| Горизонт,<br>см | Единица<br>измерения | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> |
|-----------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1               | 2                    | 3                             | 4                             | 5               | 6                | 7                | 8               |
| 0–20            | %                    | 0,031                         | 0,103                         | 0,114           | 0,059            | 0,008            | 0,054           |
|                 | мг/дм <sup>3</sup>   | 31,01                         | 107,69                        | 113,5           | 59,11            | 8,27             | 3,33            |
| 20–40           | %                    | 0,039                         | 0,132                         | 0,071           | 0,034            | 0,010            | 0,067           |
|                 | мг/дм <sup>3</sup>   | 39,02                         | 132,2                         | 70,92           | 34,07            | 9,61             | 66,67           |
| 40–60           | %                    | 0,031                         | 0,148                         | 0,064           | 0,039            | 0,010            | 0,062           |
|                 | мг/дм <sup>3</sup>   | 31,09                         | 48,1                          | 110,3           | 38,68            | 9,61             | 62,1            |
| 60–80           | %                    | 0,031                         | 0,014                         | 0,057           | 0,025            | 0,013            | 0,069           |
|                 | мг/дм <sup>3</sup>   | 31,09                         | 48,1                          | 56,7            | 24,8             | 12,5             | 67,8            |

Продолжение таблицы 1

| 1       | 2                  | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|---------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 80–100  | %                  | 0,037 | 0,115 | 0,050 | 0,090 | 0,018 | 0,010 |
|         | мг/дм <sup>3</sup> | 36,6  | 114,9 | 49,6  | 18,0  | 9,7   | 61,8  |
| 100–130 | %                  | 0,042 | 0,132 | 0,036 | 0,014 | 0,011 | 0,066 |
|         | мг/дм <sup>3</sup> | 42,1  | 132,2 | 35,5  | 13,6  | 11,1  | 65,5  |
| 130–160 | %                  | 0,042 | 0,189 | 0,043 | 0,011 | 0,014 | 0,100 |
|         | мг/дм <sup>3</sup> | 42,1  | 198,6 | 42,6  | 11,2  | 13,9  | 99,3  |

Согласно данным таблицы 1, хлориды содержатся в токсичном количестве 0,13–0,08 % в слое 0–60 см, вниз по почвенному профилю происходит уменьшение до 0,03 %. Сульфаты также находились в токсичном количестве 0,06–0,21 %. Среди катионов преобладает натрий.

Глубина залегания грунтовых вод 0,8–2,1 м. Динамика минерализации грунтовых вод по большинству скважин носит стабильный характер. Содержание сухого остатка не превышает 6 г/дм<sup>3</sup>, токсичных солей 1,5 г/дм<sup>3</sup> и хлоридов 0,2 г/дм<sup>3</sup> (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Динамика распределения минерализации дренажного стока в пределах осушаемого участка**

Химический состав дренажного стока, представленный в таблице 2, позволяет отнести данную категорию вод к сульфатному классу натриевой

группы частично смешанного катионного состава. Тип дренажных вод сульфатный натриевый и сульфатный кальциевый. В дренажном стоке даже осеннего периода отсутствуют воды хлор-магниевые типа (таблица 2).

**Таблица 2 – Химический состав природной воды и дренажного стока**

В г/дм<sup>3</sup>

| Пункт отбора пробы             | Сумма ионов | Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|--------------------------------|-------------|----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Багаевский магистральный канал | 0,368       | 0,020                            | 0,007            | 0,077            | 0,060           | 0,049                         | 0,156                         |
| Закрытый дренаж                | 4,44        | 0,744                            | 0,213            | 0,416            | 1,045           | 1,803                         | 0,227                         |
| Грунтовые воды                 | 8,783       | 2,248                            | 0,276            | 0,136            | 0,511           | 4,721                         | 0,891                         |

**Результаты и обсуждения.** С экологической точки зрения оценка защищенности подземных вод оценивается по степени токсичности загрязняющих веществ, которые в свою очередь делятся на категории [9]:

I категория – чрезвычайно опасные химические элементы, концентрация которых в подземных водах должна находиться в пределах 1,0 мг/л;

II категория – высоко и умеренно опасные химические элементы, концентрация которых в подземных водах должна находиться в диапазоне 1,0–10,0 мг/л;

III категория – малоопасные химические элементы, концентрация которых в подземных водах может быть выше 10 мг/л.

С мелиоративной точки зрения оценка защищенности подземных вод оценивается по большей части качеством оросительной воды и агрономическими приемами, позволяющими создать биогеохимический барьер за счет глубокого рыхления и дренирования почвенного покрова, регулирования скорости впитывания воды, разрушения гипсоносных и оглеевых горизонтов [10].

Оценка пригодности дренажного стока, сформировавшегося в различных районах Ростовской области, для целей орошения [11] представлена в таблице 3.

**Таблица 3 – Минерализация и пригодность дренажного стока Ростовской области по качественным показателям**

| Тип дренажа                                                              | Место отбора пробы                  | Минерализация (C)*, г/дм <sup>3</sup> | $0,23 \cdot C = \frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{Na}$ | $\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \leq 50 \%$ | $\frac{HCO_3^-}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} *$ | $\frac{Na^+}{Ca^{2+}} \leq 1 *$ | $\frac{\sum \text{ионов}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \leq 4 *$ | $\frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \leq 0,7$ | Индексы воды по О. А. Аленкину |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|
| Открытый дренаж                                                          | х. Ленинский Веселовского района    | 2,41                                  | 0,65 < 1,2                                    | 32                                             | 0,20                                  | 0,97                            | 3,1                                                    | 0,55                                      | $S_{II}^{Ca}$                  |
| Закрытый дренаж                                                          | х. Ленинский Веселовского района    | 4,44                                  | 0,03 < 1,2                                    | 45                                             | 0,08                                  | 1,54                            | 3,6                                                    | 0,75                                      | $S_{II}^{Na}$                  |
| Открытый дренаж                                                          | х. Ёлкин Багаевского района         | 1,54                                  | 0,45 < 4,9                                    | 28                                             | 0,19                                  | 0,24                            | 2,7                                                    | 0,19                                      | $S_{II}^{Ca}$                  |
| Закрытый дренаж                                                          | х. Лиманский Семикаркорского района | 1,65                                  | 0,35 < 1,75                                   | 46                                             | 0,24                                  | 0,77                            | 3,0                                                    | 0,35                                      | $S_{II}^{Ca}$                  |
| Примечание – * – допустимая минерализация не боле 4 мг/дм <sup>3</sup> . |                                     |                                       |                                               |                                                |                                       |                                 |                                                        |                                           |                                |

Проведенными лабораторными исследованиями качества дренажных вод (июнь 2018 г.) установлено, что дренажные воды закрытой сети по минерализации имеют ограниченное применение в орошении в сравнении с их сбором открытой сетью. Как видно из данных таблицы 2, допустимая минерализация превышена в дренажном стоке закрытой оросительной сети х. Ленинского Веселовского района.

Распространение загрязняющих веществ в почвенном профиле с дренажными водами встречает ряд почвенно-геохимических барьеров, таких как биохимические и физико-химические. Для нас представляет интерес физико-химический барьер, который обусловлен сорбционно-седиментационными и хемосорбционными свойствами почв. При этом подвижность элементов обусловлена кислотно-основными и окислительно-восстановительными условиями, которые сформировались в почвенном профиле [12].

Для проведения прогноза загрязнения подземных вод дренажными водами, используемыми для орошения после подготовки, необходимо определить время достижения этими водами уровня грунтовых вод и оценить их расход, фильтрующийся через почвенный профиль.

Если знать оросительную норму подготовленных дренажных вод на определенной площади, время достижения дренажными водами уровня грунтовых вод может быть определено по формулам.

Случай I. Расход фильтрационных вод меньше коэффициента фильтрации пород в зоне аэрации:

$$t = \frac{mn}{\sqrt[3]{q^2 k}},$$

где  $m$  – мощность зоны аэрации, м;

$n$  – пористость водоносных пород, %;

$q$  – расход фильтрационных вод, определяемый из выражения:

$$q = \frac{Q}{F},$$

где  $Q$  – оросительная норма, м<sup>3</sup>/га;

$F$  – орошаемая площадь, га;

$k$  – коэффициент фильтрации.

Случай II. Расход фильтрационных вод больше коэффициента фильтрации пород в зоне аэрации:

$$t = \frac{m}{\frac{(1-n)k}{2n} + \sqrt{\frac{(1-n)^2 k^2}{4n^2} + \frac{qk}{n}}}.$$

Если разрез почвенного профиля неоднородный и включает в себя несколько слоев с различными фильтрационными свойствами, то необходимо использовать среднее значение коэффициента фильтрации, которое в свою очередь можно определить по формуле:

$$k_{cp} = \frac{m}{\left( \frac{m_1}{k_1} + \frac{m_2}{k_2} + \dots + \frac{m_i}{k_i} \right)}.$$

Изменение концентрации загрязняющих веществ в грунтовых водах рассмотрим для одноразового полива. Тогда зависимость для прогноза изменения во времени концентрации загрязняющих веществ под орошаемым участком имеет вид:

$$c_1 = \frac{(W_{\phi} c_{\phi} + W_0' c_{i-1} + W_0'' c_0)}{W_0 + W_{\phi}},$$

где  $c_0$  – концентрация загрязняющих веществ в грунтовых водах под орошаемым участком в любой  $i$ -й год после начала орошения, г/дм<sup>3</sup>;

$c_{i-1}$  – концентрация загрязняющих веществ в грунтовых водах в предыдущем году, г/дм<sup>3</sup>;

$c_{\phi}$  – концентрация загрязняющих веществ в дренажном стоке, г/дм<sup>3</sup>;

$W_{\phi}$  – общий объем дренажного стока, поступающего на орошаемый участок, м<sup>3</sup>;

$W_0$  – общий объем грунтовых вод под орошаемым участком, м<sup>3</sup>:

$$W_0 = Fhn,$$

$$W_0 = Fhn = 50000 \cdot 10 \cdot 0,25 = 206250 \text{ м}^3,$$

где  $F$  – площадь орошаемого участка, м<sup>2</sup>;

$h$  – средняя мощность горизонта грунтовых вод, м;

$W'_0$  – объем загрязненных грунтовых вод, оставшихся под орошаемым участком после их вытеснения чистыми водами в межполивной период, м<sup>2</sup>:

$$W'_0 = ahn(L - x_m),$$

$$W'_0 = 100 \cdot 16,5 \cdot 0,25 \cdot (500 - 0,25) = 205631,3 \text{ м}^3,$$

где  $a$  – ширина участка, м;

$L$  – длина участка, м;

$x_m$  – расстояние, которое проходят загрязненные грунтовые воды за определенный период времени, м;

$W''_0$  – объем чистых грунтовых вод, оставшихся под орошаемым участком после их вытеснения загрязненными водами в межполивной период, м<sup>2</sup>:

$$W''_0 = ahnx_m = 100 \cdot 16,5 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 618,5 \text{ м}^3.$$

Прогноз изменения во времени концентрации загрязняющих веществ под орошаемым участком представлен в таблице 4.

**Таблица 4 – Прогноз изменения во времени концентрации загрязняющих веществ под орошаемым участком**

В г/дм<sup>3</sup>

| Загрязняющее вещество            | Концентрация загрязняющего вещества |                |                |                |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                                  | 1-й год полива                      | 2-й год полива | 3-й год полива | 4-й год полива |
| 1                                | 2                                   | 3              | 4              | 5              |
| Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> | 2,2089                              | 2,2057         | 2,2089         | 2,2121         |
| Mg <sup>2+</sup>                 | 0,2744                              | 0,2742         | 0,2749         | 0,2755         |
| Ca <sup>2+</sup>                 | 0,1433                              | 0,1439         | 0,1449         | 0,1459         |

Продолжение таблицы 4

| 1                  | 2      | 3      | 4      | 5      |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| $\text{Cl}^-$      | 0,5249 | 0,5260 | 0,5287 | 0,5412 |
| $\text{SO}_4^{2-}$ | 4,6452 | 4,6389 | 4,6463 | 4,6535 |
| $\text{HCO}_3^-$   | 0,8738 | 0,8723 | 0,8735 | 0,8746 |

Из представленных расчетных данных (таблица 4) можно видеть, что концентрация загрязняющих веществ начинает расти на третий год полива, на второй год наблюдается небольшое снижение (в среднем на 10 %) суммы ионов калия и натрия (с 2,2089 до 2,2057 г/дм<sup>3</sup>), магния – с 2,2744 до 2,2742 г/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатов – с 0,8738 до 0,8723 г/дм<sup>3</sup>.

### Заключение

1 Химический состав исследуемого дренажного стока позволяет отнести данную категорию вод к сульфатному классу натриевой группы частично смешанного катионного состава. Тип дренажных вод сульфатный натриевый и сульфатный кальциевый.

2 Проведенными лабораторными исследованиями качества дренажных вод (июнь 2018 г.) установлено, что дренажные воды закрытой сети по минерализации имеют ограниченное применение в орошении в сравнении с их сбором открытой сетью. Так, допустимая минерализация превышена в дренажном стоке закрытой оросительной сети х. Ленинского Веселовского района.

3 Установлено, что концентрация загрязняющих веществ начинает расти на третий год полива, на второй год наблюдается небольшое снижение (в среднем на 10 %) суммы ионов калия и натрия (с 2,2089 до 2,2057 г/дм<sup>3</sup>), магния – с 2,2744 до 2,2742 г/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатов – с 0,8738 до 0,8723 г/дм<sup>3</sup>.

4 Проведенные исследования показали, что применение неподготовленного дренажного стока при орошении сельскохозяйственных угодий будет способствовать накоплению загрязняющих веществ в грунтовых водах и росту экологической нагрузки на природную среду.

### Список использованных источников

- 1 Chowdary, V. M. Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects / V. M. Chowdary, N. H. Rao, P. B. S. Sarma // *Agricultural Water Management*. – 2005. – Vol. 75, № 3. – P. 194–225.
- 2 Muhammetoglu, H. Vulnerability of groundwater to pollution from agricultural diffuse sources: a case study / H. Muhammetoglu, A. Muhammetoglu, S. Soyupak // *Water Science and Technology*. – 2002. – Vol. 45, № 9. – P. 1–7.
- 3 Groundwater composition and pollution due to agricultural practices at Sete Cidades volcano (Azores, Portugal) / J. V. Cruz, M. I. Dias, M. O. Silva, M. I. Prudencio // *Applied Geochemistry*. – 2013. – Vol. 29. – P. 162–173.
- 4 Выра, Н. Охрана вод от загрязнения удобрениями и пестицидами / Н. Выра // *Гидротехника и мелиорация*. – 1977. – № 4. – С. 105–111.
- 5 Белоусова, А. П. Оценка защищенности подземных вод юга европейской части России / А. П. Белоусова, И. В. Агеева, Е. Э. Руденко // *Водные ресурсы*. – 2014. – Т. 41, № 2. – С. 131–131.
- 6 Васильченко, В. А. Возможности использования подземных вод при эксплуатации оросительных систем Нижнего Дона / А. В. Васильченко // *Мелиорация орошаемых земель. Использование и охрана водных ресурсов*. – Новочеркасск, 1982. – С. 117–123.
- 7 Thapinta, A. Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand / A. Thapinta, P. F. Hudak // *Environment International*. – 2003. – Vol. 29, № 1. – P. 87–93.
- 8 Домашенко, Ю. Е. Моделирование и оценка поступления загрязняющих веществ в коллекторно-дренажный сток / Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. – 2016. – № 2(22). – С. 112–127. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=406&id=414>.
- 9 Белоусова, А. П. Оценка защищенности подземных вод от загрязнения радионуклидами / А. П. Белоусова // *Вода: химия и экология*. – 2012. – № 5. – С. 11–17.
- 10 Предотвращение загрязнения подземных вод путем создания искусственных биогеохимических барьеров / Г. К. Лобачева, Н. В. Колодницкая, В. И. Сметанин, И. Ж. Гучанова, В. Ф. Желтобрюхов, В. М. Осипов, А. И. Филиппова // *Вестник ВолГУ. Серия 11: Естественные науки*. – 2012. – № 1(3). – С. 48–57.
- 11 Бурдин, Л. М. Использование показателей качества природных вод при оценке грунтовых вод / Л. М. Бурдин, Г. П. Рябцев // *Мелиорация и водное хозяйство*. – Киев, 1981. – Вып. 52. – С. 3–7.
- 12 Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М.: Астрей-2000, 1999. – 730 с.

### References

- 1 Chowdary V.M., Rao N.H., Sarma P.B.S., 2005. Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects. *Agricultural Water Management*, vol. 75, no. 3, pp. 194-225.
- 2 Muhammetoglu H., Muhammetoglu A., Soyupak S., 2002. Vulnerability of groundwater to pollution from agricultural diffuse sources: a case study. *Water Science and Technology*, vol. 45, no. 9, pp. 1-7.
- 3 Cruz J.V., Dias M.I., Silva M.O., Prudencio M.I., 2013. Groundwater composition and pollution due to agricultural practices at Sete Cidades volcano (Azores, Portugal). *Applied Geochemistry*, vol. 29, pp. 162-173.
- 4 Vyra N., 1977. *Okhrana vod ot zagryazneniya udobreniyami i pestitsidami* [Water protection from pollution by fertilizers and pesticides]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydraulic Engineering and Land Reclamation], no. 4, pp. 105-111. (In Russian).

5 Belousova A.P., Ageeva I.V., Rudenko E.E., 2014. *Otsenka zashchishchennosti podzemnykh vod yuga evropeyskoy chasti Rossii* [Assessment of groundwater protection in the southern European Russia]. *Vodnye resursy* [Water Resources], vol. 41, no. 2, pp. 131-131. (In Russian).

6 Vasil'chenko V.A., 1982. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya podzemnykh vod pri ekspluatatsii orositel'nykh sistem Nizhnego Dona* [Possibilities of using groundwater during the Lower Don irrigation systems operation]. *Melioratsiya oroshaemykh zemel'. Ispol'zovanie i okhrana vodnykh resursov* [Land Reclamation of Irrigated Lands. Use and Protection of Water Resources]. Novocherkassk, pp. 117-123. (In Russian).

7 Thapinta A., Hudak P.F., 2003. Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand. *Environment International*, vol. 29, no. 1, pp. 87-93.

8 Domashenko Yu.E., Vasil'ev S.M., 2016. [Modeling and evaluation of pollutants input into a collector-drainage run-off]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(22), pp. 112-127, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=406&id=414>. (In Russian).

9 Belousova A.P., 2012. *Otsenka zashchishchennosti podzemnykh vod ot zagryazneniya radionuklidami* [Radionuclide pollution of groundwater – security assessment]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: Chemistry and Ecology], no. 5, pp. 11-17. (In Russian).

10 Lobacheva G.K., Kolodnitskaya N.V., Smetanin V.I., Guchanova I.Zh., Zheltobryukhov V.F., Osipov V.M., Filippova A.I., 2012. *Predotvrashchenie zagryazneniya podzemnykh vod putem sozdaniya iskusstvennykh biogeokhimicheskikh bar'erov* [Prevention of the pollution underground water by means of artificial biogeochemical barriers]. *Vestnik VolGU. Seriya 11: Estestvennye nauki* [Bull. of VolSU. Series 11: Natural Sciences], no. 1(3), pp. 48-57. (In Russian).

11 Burdin L.M., Ryabtsev G.P., 1981. *Ispol'zovanie pokazateley kachestva prirodnykh vod pri otsenke gruntovykh vod* [Use of indicators of the natural waters quality in the groundwater assessment]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management]. Kiev, iss. 52, pp. 3-7. (In Russian).

12 Perel'man A.I., Kasimov N.S., 1999. *Geokhimiya landshafta* [Landscape Geochemistry]. Moscow, Astreya-2000 Publ., 730 p. (In Russian).

---

#### **Васильев Дмитрий Геннадьевич**

Должность: аспирант

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: dim-vasilev@ya.ru

#### **Vasilyev Dmitriy Gennadyevich**

Position: Postgraduate

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: dim-vasilev@ya.ru

#### **Челахов Василий Царукович**

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший научный сотрудник

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

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421  
E-mail: rosniipm@yandex.ru

**Chelakhov Vasiliy Tsarukovich**

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: rosniipm@yandex.ru

**Домашенко Юлия Евгеньевна**

Ученая степень: доктор технических наук

Должность: заместитель директора по науке и внешним связям

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

**Domashenko Yuliya Yevgenyevna**

Degree: Doctor of Technical Sciences

Position: Deputy Director for Science and International Links

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

**Васильев Сергей Михайлович**

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: врио директора

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

**Vasilyev Sergey Mikhaylovich**

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Acting Director

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