

Л. В. КИРЕЙЧЕВА

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ СБРОСА ДРЕНАЖНЫХ ВОД С МЕЛИОРИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рассмотрены вопросы оценки антропогенной нагрузки на водные объекты, выделены следующие показатели нагрузки: годовой объем изъятия водных ресурсов на орошение, максимальный объем изъятия в вегетационный период, объем сброса дренажного стока, химических веществ и биогенных элементов. В зависимости от минерализации и качественного состава дренажного стока предложены направления снижения антропогенной нагрузки: внутрисистемное использование на орошение кормовых и технических культур; на хозяйственные нужды и водопой скота; очистка и деминерализация дренажного стока; испарение и сброс на рельеф местности. Методической основой выполненных исследований является анализ существующей российской системы нормирования, определения допустимого уровня антропогенной нагрузки на водный объект и учета технико-экономических возможностей субъектов водопользования по достижению требуемых показателей очистки сточных вод. Результатом выполненных исследований является обоснование интегральных показателей антропогенной нагрузки на водные объекты при функционировании мелиоративных систем, включая годовой объем изъятия водных ресурсов на орошение, максимальный объем изъятия в вегетационный период, объем сброса дренажного стока с мелиорируемых территорий в теплый период, объем загрязнений, сбрасываемых с мелиорируемых территорий в водные объекты (дренажный, сбросной и диффузионные стоки). Научная новизна исследований заключается в теоретическом обосновании возможных направлений снижения сброса дренажно-сбросных вод в водные объекты в зависимости от его минерализации и качественного состава. Практическая значимость исследований определяет возможность использования предложенных технических решений при техническом перевооружении, реконструкции и новом строительстве мелиоративных систем при реализации Программы развития мелиорации до 2020 года.

Антропогенная нагрузка, водные объекты, дренажный сток, очистка, деминерализация, испарение, сброс на рельеф.

There are considered issues of assessment of the anthropogenic load on water bodies, identified the following indicators of loading: the annual volume of water resources withdrawal for irrigation, the maximum amount of withdrawal in the vegetation period, the volume of drainage runoff, chemicals and biogenic elements. Depending on the mineralization and qualitative content of the drainage flow there are proposed directions for the reduction of the anthropogenic load: the intersystem usage for irrigation of fodder and technical crops; for domestic needs and livestock watering, cleaning and demineralization of drainage flow; evaporation and discharge on the terrain relief. The methodological basis of the research is the analysis of the existing Russian system of rationing, determination of the permissible level of the anthropogenic load on water bodies and consideration of technical and economic capabilities of the regional water management to achieve the required performance of waste water treatment. The result of the research is the substantiation of the integral indicators of the anthropogenic load on water bodies under the functioning of reclamation systems including the annual withdrawal of water resources for irrigation, the maximum amount of withdrawal in the vegetation period, the volume of drainage runoff from reclaimed areas during the warm period, the volume of pollutants discharged from irrigated areas in water bodies (drainage, waste and wastewater diffusion). The scientific novelty of the research is a theoretical substantiation of possible ways to reduce the discharge of drainage water into water bodies, depending on its mineralization and quality. The practical significance of the research determines the possibility of using the proposed technical solutions under technical re-equipment, reconstruction and new construction of drainage systems in the implementation of the program of land reclamation development by 2020.

Anthropogenic load, water bodies, drainage runoff, purification, demineralization, evaporation, discharge to ground.

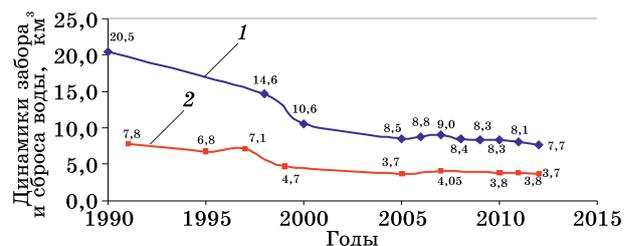
Россия обладает значительным водным потенциалом, сохранение и восстановление его качественного состава является важнейшей государственной и общенациональной задачей. Как и во всем мире, в России качество водных ресурсов за счет усиления антропогенной нагрузки ухудшается. По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году» [1] суммарный забор из водных источников составил 76 497 млн м³. После использования ежегодно сбрасывается в природные водные объекты 52 км³ сточных вод, из них 20 км³ загрязненных сверх установленных нормативов (без очистки или недостаточно очищенных).

Всего для нужд населения и хозяйственного комплекса страны ежегодно используется порядка 63 км³, в том числе в сельском, лесном и рыбном хозяйствах – 15,6 км³. Наибольший объем водопотребления приходится на производственные нужды (более 60 %). В составе АПК на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение приходится 7 км³ или около 13 % от всего водопотребления. В сельском хозяйстве самым крупным водопотребителем является орошаемое земледелие. В 2013 г. из природных водных объектов на орошение было использовано 6,7 км³ пресной воды (12,5 % от общего водозабора на все нужды). Сброс в водные источники составил 3,6 км³, или 23,2 % от привлеченных ресурсов.

За период с 1990 года использование свежей воды уменьшилось на 30 %, в основном за счет снижения потребления на нужды промышленности на 13 км³ и сельского хозяйства – на 14 км³. Объем изъятия воды для нужд сельского хозяйства в 1980–1990 гг. составлял 37...41 км³. При этом объем используемой сельским хозяйством России свежей воды на протяжении 80-х годов, несмотря на заметный рост производства, был довольно стабильным и составлял 25...29 км³. В период перехода к рыночным объемам используемой свежей воды стал неуклонно снижаться. Орошаемое земледелие было одним из наиболее динамично развивающихся водопотребителей в стране. С 1970 по 1990 гг. площадь орошаемых земель в РСФСР выросла с 1,9 до 6,1 млн га. Однако, с начала

90-х годов наблюдается резкое снижение финансирования отрасли, что привело к обвальному сокращению затрат на поддержание мелиоративных систем в рабочем состоянии сопровождалось снижению использования орошаемых земель. Площадь регулярного орошения стала неуклонно сокращаться и уже к 2000 г. приблизилась к 4,5 млн га, сократившись к настоящему времени до 4,2 млн га. Более динамично сокращалась площадь фактически политых земель. Если в 70–80 гг. дополнительно поливалась значительная часть земель, неучтенных в числе орошаемых (так называемые земли инициативного орошения), то в 90 гг. не хватало средств на проведение поливов даже на землях, оборудованных стационарной оросительной сетью. Площадь фактически политых земель в целом по России снизилась с 5...5,2 млн га в 1986–1988 гг. до 2,4...3 млн га в настоящее время. За 25 лет удельное водопотребление в орошаемом земледелии России снизилось более чем в 2 раза (с 3,7...4 до 1,7 тыс. м³/га).

На орошаемых землях России объем дренажного стока составляет примерно 50 % от водозабора воды на орошение. До 1999 г. объем сброса дренажного стока включался в Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды РФ». Более поздние значения дренажного стока выполнены нами расчетным путем. В связи с уменьшением поливаемых площадей к настоящему времени значительно снизился и объем дренажных вод. Тем не менее, и сегодня актуальными задачами остаются оценка его воздействия на водные объекты и возможность повторного использования. Динамика забора воды на орошение и сброса дренажного стока показана на рисунке.



Динамика забора воды на орошение и сброса дренажного стока (по данным Государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации»)

Степень и характер изменения состояния водного объекта в результате антропогенного воздействия определяются по изменению объема стока, массе поступающих и изымаемых веществ, изменению количества энергии. Механизмами установления пределов воздействий следует считать использование нормативов, которые накладывают ограничения на деятельность водопользователей с целью обеспечения благоприятного состояния водных экосистем. Нормативы устанавливаются по видам воздействия на водные объекты, для вод по видам их использования, для воды как среды обитания, а также для сточных вод.

К недостаткам существующей российской системы нормирования можно отнести отсутствие комплексного бассейнового подхода к определению допустимого уровня антропогенной нагрузки на водный объект и учета технико-экономических воз-

можностей субъектов водопользования по достижению требуемых показателей очистки сточных вод. Необходимо разумное сочетание экономических и административных механизмов управления, что позволит найти наиболее приемлемые пути решения водохозяйственных проблем.

Сброс дренажных и дренажно-сбросных вод (ДСВ) в водные объекты осуществляется в теплый период и является сосредоточенным. Приблизительно объемы дренажного стока по системам или отдельным участкам оценивают по формуле (1) из [2]:

$$W_d = gFt, \quad (1)$$

где W_d – объем дренажного стока; g – модуль дренажного стока; F – площадь дренажного участка; t – продолжительность работы дренажа.

Химический состав дренажно-сбросных вод весьма разнообразный и зависит от регионального гидрохимического режима и соответствует природным закономерностям галогеохимических процессов (таблица 1) [3].

Таблица 1
Химический состав дренажных и дренажно-сбросных вод с оросительных систем по регионам Российской Федерации [3]

| Регион РФ | Минерализация, г/л | Концентрация ионов (мг/л) и значение pH | | | | | | pH |
|---------------------------------|--------------------|---|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|------------------|
| | | НСО ₃ | Сl | SO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ +K ⁺ | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Алтайский край | 0,3...2,2 0,5 | 128,0...492,7 182,6 | 28,0...456,2 66,5 | 61,5...884,2 148,4 | 44,0...107,0 56,2 | 10,7...70,0 21,7 | 22,0...696,7 101,2 | 7,6 |
| Астраханская область | 0,4-1,96 1,2 | 77,0...421 230,2 | 42,0...559,0 219,9 | 85,0...744,0 349,0 | 45,0...243,0 123,1 | 16,0...180,0 58,2 | 38,0...409,0 162,8 | - |
| Волгоградская область | 0,3...24,4 2,8 | 68,0...737,0 368,1 | 14,0...5285,0 402,2 | 20,0...13845,0 1201,8 | 12,0...920,0 139,6 | 5,0...1008,0 120,4 | 3,0...6110,0 585,7 | 6,7...9,4 7,9 |
| Карачаево-Черкесская республика | 0,3...0,6 0,4 | 250,3...398,0 329,3 | 13,8...22,7 18,4 | 24,5...220,0 122,0 | 53,7...76,1 - | 19,4...42,6 31,0 | 26,4...110,4 59,7 | 8,2 |
| Липецкая область | 0,4...0,7 0,5 | 220,0...360,0 288,2 | 18,0...42,0 27,7 | 43,0...115,0 64,2 | 64,0...132,0 96,0 | 11,0...34,0 16,7 | 7,0...15,0 12,0 | 7,6...7,9 7,7 |
| Республика Калмыкия | 1,2...10,6 6,7 | 224,0...395,0 313,5 | 297,0...3850,0 1601,0 | 432,0...4080,0 2438,0 | 40,0...750,0 412,5 | 126,0...570,0 365,0 | 211,0...2503 1276,7 | 7,0...8,0 7,8 |
| Ростовская область | 0,8...8,8 2,2 | 240,0...416,9 308,3 | 89,8...3905,7 377,8 | 452,0...1846,4 967,3 | 97,5...277,5 169,9 | 33,2...317,2 98,8 | 129,6...2412 441,7 | 7,6...8,1 7,8 |
| Самарская область | 0,3...0,4 0,3 | 128,0...205,0 153,0 | 36,0...58,0 42,0 | 38,0...98,0 68,0 | 48,0...68,0 61,0 | 9,0...20,0 14,0 | 6,0...40,0 16,0 | 7,3 |

Экспертным путем установлено, что при средней минерализации 2,5 г/л в водные объекты поступает от 10 до 25 млн т различных солей в год. Помимо основных химических элементов в дренажном стоке присутствуют различные загрязнители: пестициды, аммонийный и нитратный азот, фосфор, соли тяжелых металлов. Поэтому в качестве приоритетных показателей антропоген-

ной нагрузки можно принять, помимо объема сброса дренажного стока, и объем сброса химических веществ.

Зная объем дренажного стока W_d можно определить количество загрязняющих веществ, которое может поступить в водные объекты по следующей формуле:

$$V_c = (W_d C_i), \quad (2)$$

где C_i – концентрация любого загрязняющего вещества мг/л.

Для i -го химического элемента или другого вещества устанавливается необходимый допустимый сброс (НДС), т. е. есть масса этого вещества в дренажных и сбросных водах максимально допустимая к отведению в данном створе водного объекта в единицу времени, обеспечивающая нормативный показатель (ПДК) этого вещества в воде водных объектов [4]. Необходимый допустимый сброс есть зависящая величина от ассимилирующей способности водного объекта и изменений концентраций химических и других веществ в результате гидродинамических и биохимических процессов в водном объекте.

Ассимилирующая способность водного объекта – это возможность водного объекта принимать определенную массу i -го вещества в единицу времени без нарушения нормативного показателя этого же вещества в воде водного объекта в контрольном створе, которая соответствует предельно-допустимому сбросу (ПДС) и определяется как [5]:

$$\text{ПДС} = C_{\text{пдс}} q \text{ или } \text{ПДС} = C_{\text{пдс}} W 0,001, \quad (3)$$

где $C_{\text{пдс}}$ – допустимая к сбросу концентрация загрязняющего вещества, мг/л или г/м³, определяется по формуле:

$$C_{\text{пдс}} = n(C_{\text{пдк}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}, \quad (4)$$

где n – кратность разбавления, определяемая по методу Фролова-Родзиллера для водотоков или по методу Руффеля для водоемов; $C_{\text{пдк}}$ – нормативная предельно допустимая концентрация данного вещества в водном объекте для данной категории водопользования, мг/л; $C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация данного вещества, мг/л; q – максимальный расход ДСВ, м³/час; W – объем ДСВ тыс. м³/год.

Самоочищающуюся способность водного объекта определяют по формуле:

$$C_{\text{пдк}} = C_{\text{пдк}} \exp(kt), \quad (5)$$

где $C_{\text{пдк}}$ – нормативная предельно допустимая концентрация для неконсервативного вещества, мг/л; k – коэффициент скорости распада (деструкции) неконсервативного вещества, л/сут; t – время «добегания» от места сброса до контрольного (расчетного) створа, сут. Для консервативных веществ $k = 0$, т. е. $\exp(kt) = 1$.

В общем понимании антропогенная нагрузка на водные объекты – это степень воздействия человека и его деятельности. В статье рассматривается мелиоративная деятельность, при которой определены показатели антропогенной нагрузки на водные объекты при функционировании мелиоративных систем. Выделены сле-

дующие основные показатели: годовой объем изъятия водных ресурсов на орошение, максимальный объем изъятия в вегетационный период, объем сброса дренажного стока с мелиорируемых территорий в теплый период, объем загрязнений, сбрасываемых с мелиорируемых территорий в водные объекты (дренажный, сбросной и диффузионные стоки). Объем сбрасываемых загрязнений целесообразно разделить на объем сброса химических веществ и биогенных элементов (НРК).

Снижение антропогенной нагрузки на водные объекты за счет сброса дренажных и сбросных вод с мелиорируемых территорий возможно осуществить различными путями:

при минерализации до 3 г/л возможен сброс в водные объекты или их использование на орошение;

если минерализация составляет 3...5 г/л, то необходима очистка от поллютантов, кондиционирование и дальнейшее использование на орошение солеустойчивых культур, а также на различные технические нужды;

при минерализации 5...10 г/л и в случае дальнейшего ее использования требуется очистка воды, разбавление в необходимом соотношении природной водой для внутрисистемного использования на орошение солеустойчивых или технических культур, а также водопой скота или другие нужды;

при минерализации более 10 г/л наиболее приемлема утилизация путем испарения или сброса дренажных вод на рельеф местности. В условиях острого дефицита водных ресурсов возможно использование различных экономически целесообразных способов деминерализации воды.

Для условий, когда минерализация дренажных вод не превышает 3 г/л, наиболее приемлемы способы очистки дренажных вод от таких загрязнителей как взвешенные вещества, биогенные элементы, пестициды, соли тяжелых металлов и др. Среди технических решений наибольшее распространение получили различные биоплато. При этом известные технические решения целесообразно дополнить специальными элементами, позволяющими сорбировать химические элементы, находящиеся в воде. Это могут быть

перегораживающие фильтрующие устройства или фильтрующие основания биоплато с насыпными сорбентами. С экологической точки зрения целесообразно использовать природные сорбенты или модификации на их основе. К природным сорбентам относятся карбонатные сапропели, различные глины, цеолиты, вермикулиты и др. Это позволит обеспе-

чить доочистку дренажных вод от тяжелых металлов и защиту грунтовых вод от загрязнения. В ФГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова разработаны сорбенты на базе природного карбонатного сапропеля, которые позволяют очищать дренажно-сбросные воды от пестицидов, солей тяжелых металлов, нефтепродуктов и ряда химических элементов (таблица 2).

Таблица 2
Сорбционные характеристики сапропеля и сорбентов на его основе [6]

| Загрязнитель | АУ | Сапропель гранулированный | СОРБЭКС | САПРОЛЕН | Сапропель-Актив |
|--------------|------------|------------------------------|---------|----------|-----------------|
| ПАВ | 1,5**/- | 0,44/88 | 0,47/95 | 0,29/58 | 0,49/98 |
| Zn | 0,005***/- | 2,25/85 | 2,58/98 | -/91 | 1,25/97 |
| Cu | 0,038***/- | 0,87/95 | 0,85/92 | -/87 | 0,43/95 |
| Pb | 0,054***/- | 0,70/89 | 0,74/94 | -/87 | 0,35/97 |

Примечания: СОЕ* – статистическая обменная емкость, мг/г (числитель); E – процент поглощения данного вещества (знаменатель).

Техническими инженерными решениями по очистке дренажных вод являются съемные фильтрующие элементы на дренажной системе, поглощающие колодцы, дренажные галереи и другие [7].

Наиболее радикальный прием снижения нагрузки от сброса дренажных и сбросных вод в водные объекты - использование дренажных вод на орошение. В этом случае они являются дополнительным водным ресурсом. Используя предварительно подготовленные дренажные воды на орошения, возможно либо увеличить площади орошения, либо снизить водозабор в оросительную систему. При такой постановке задачи, помимо очистки от антропогенных загрязнителей, дренажные воды необходимо довести до нормативных значений путем их разбавления пресной водой или ее кондиционирования, т. е. регулирования химического состава путем замены токсичного натрия на кальций. Для этого используется различные кальцийсодержащие вещества, которыми обрабатывается минерализованная вода. Дренажная вода, предназначенная на орошение, накапливается в прудах – накопителях [8]. Для предотвращения испарения накопительную емкость целесообразно устраивать закрытого типа с водонепроницаемым дном с целью предотвращения фильтрации в грунтовые воды. Накопительный пруд рекомендуется проектировать 2-х секционным с переливной перегородкой, выполненной с засыпкой гранулированным сорбентом

или со съемными модулями из сорбентов по габионному типу. При минерализации дренажного стока более 10 мг/л предусматривается модуль с ионно-обменными фильтрами. Для предотвращения эвтрофирования пруда при разрастании водной растительности предусмотрен необходимый объем разбавления, полученный из выполнения соотношения:

$$V_{\text{пз пруда}} = V_{\text{плэн}} K_{\text{пз}}, \quad (6)$$

где $V_{\text{пз пруда}}$ – необходимый объем разбавления свежей водой из условия загрязнения биогенными элементами; $K_{\text{пз}}$ – коэффициент предельного загрязнения пруда биогенным загрязнителем; $V_{\text{плэн}}$ – полезный объем пруда.

При наличии значительных объемов высокоминерализованных дренажных вод используется метод испарения дренажных вод в специальных бассейнах-испарителях [3]. Для более эффективной работы бассейна-испарителя устраивают секции, позволяющие последовательно отключать одну из секций на период утилизации побочных продуктов. Параметры бассейна-испарителя выбирают в зависимости от годового объема дренажно-сбросных вод, которые должны быть отведены в зависимости от проектируемого стока заполнения бассейна и климатических условий. Размещать бассейны-испарители целесообразно на прилегающих в системе территориях. В каждом конкретном случае должен быть оценен ущерб, наносимый сельскому хозяйству, и выполнена экологическая экспертиза. Главный недостаток этого способа утилизации – значительный отвод площади. Например,

для Волгоградской области при уровне обеспеченности $p = 75$ % площадь бассейнов-испарителей составит 2,6...6,1 % от площади орошения или 8...8,3 % от площади дренирования. Для интенсификации испарения минерализованных дренажных вод возможно использование капиллярно-пористых материалов [9].

Выводы

Несмотря на значительное сокращение орошаемых площадей и снижение водопотребления на орошение, антропогенная нагрузка на водные объекты при функционировании мелиоративных систем достаточно ощутима: годовой объем изъятия водных ресурсов на орошение в настоящее время составляет 7,7 км³, а объем дренажного около 3,7 км³, что предопределяет необходимость реализации мероприятий по водосбережению на гидромелиоративных системах.

При оценке антропогенной нагрузки на водные объекты целесообразно учитывать следующие показатели: максимальный объем изъятия воды на орошение в вегетационный период, объем сброса дренажного стока с мелиорируемых территорий в теплый период, объем загрязнений, сбрасываемых с мелиорируемых территорий в водные объекты (дренажный, сбросной и диффузионные стоки). Объем сбрасываемых загрязнений целесообразно разделить на объем сброса химических веществ и биогенных элементов (НРК).

Снижение антропогенной нагрузки на водные объекты в плане сброса дренажного стока с мелиорируемых территорий возможно осуществить путем более широкого использования подготовленных дренажных вод на орошение, водопой скота, для технических нужд, а также внедрением на гидромелиоративных системах наилучших технических достижений по очистке и деминерализации дренажных и сбросных вод. Разработанные технические решения должны найти широкое использование в практике модернизации, реконструкции и нового строительства мелиоративных систем, что особенно актуально в свете принятия последних решений Правительства по развитию мелиораций.

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году»

[Электронный ресурс]. – URL: <http://mnr.gov.ru/regulatory/1> (Дата обращения 22.06.2015).

2. Пособие по очистке и утилизации дренажно-сбросных вод; под редакцией Л. В. Кирейчевой. – М.: РАСХН, 1999. – 67 с.

3. **Конторович И. И.** Каталог перспективных ресурсоэкономичных технологий и технических средств для очистки дренажных и сбросных вод гидромелиоративных систем. – М.: Россельхозакадемия, 2007. – 89 с..

4. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. – МПР РФ приказ от 12 декабря 2007 г. № 328.

5. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей [Электронный ресурс]. – URL: http://znaytovar.ru/gost/2/Prikaz_333_Metodika_razrabotki.html (Дата обращения 22.06.2015).

6. **Кирейчева Л. В., Андреева Н. П.** Комплексные сорбенты для очистки сточных вод от органических соединений и ионов тяжелых металлов // Водочистка, водоподготовка, водоснабжение. – 2009. – № 1. – С. 43–46.

7. **Kireycheva L. V., Glazunova I. V.** Technical Solution on Irrigation Systems for Treated Drainage flow Reusing // 20th International Congress on Irrigation and Drainage and 59th International Executive Council Meeting on 13–18 October, 2008. – Lahore, Pakistan.

8. **Кирейчева Л. В., Глазунова И. В.** Методика расчета прудов-накопителей дренажного стока для локальных участков орошения // Природообустройство. – 2012. – № 5. – С. 30–34

9. **Конторович И. И.** Использование капиллярно-пористых материалов для интенсификации испарения минерализованных дренажных вод // Труды Юбилейной международной научно-практической конференции, посвященная 90-летию ВНИИГиМ, 26 ноября 2014 г. – М.: ВНИИГиМ, 2014. – С. 451.

Материал поступил в редакцию 22.06.2015.

Кирейчева Людмила Владимировна, доктор технических наук, профессор, заместитель директора, заведующая отделом природоохранных и информационных технологий.

Тел. 8-916-006-72-95

E-mail: kireychevalw@mail.ru