

Federal state budgetary scientific institution «Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation», Gagarina, 1, 413123, Engels, Saratov region, Russian Federation

DOI: 10.26897/2618-8732-2021-23-60-65

УДК 70.25.00

## АНАЛИЗ ОБЪЕМА СБРОСА ЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПО БАСЕЙНАМ РЕК И МОРЕЙ РФ

Хуцишвили А.Т.

Исследование проведено на основании официальных данных Службы государственной статистики Российской Федерации за 1993 – 2020 года. Проанализирован ряд динамики объема сброса загрязненных сточных вод по бассейнам отдельных рек и морей РФ. Построены интегральные и выборочные кривые распределения. Для построения модели прогноза было построено факторное поле, а также проверено качество полученной модели по отдельным критериям. Было составлено уравнение регрессии, которое использовали для составления краткосрочного прогноза на 2021-2022 гг. Указан комплекс мер необходимый для уменьшения показателя по объему сброса загрязненных сточных вод.

**Ключевые слова:** сточные воды, математическая модель, факторное поле, уравнение регрессии, прогноз, комплекс мер.

## ANALYSIS OF THE VOLUME OF DISCHARGE OF POLLUTED WASTEWATER IN THE BASINS OF RIVERS AND SEAS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Khutsishvili A.T.

The study was conducted on the basis of official data of the State Statistics Service of the Russian Federation for 1993 - 2020. A number of dynamics of the volume of discharge of polluted wastewater in the basins of individual rivers and seas of the Russian Federation are analyzed. Integral and selective distribution curves are constructed. To build a prediction model, a factor field was constructed, and the quality of the resulting model was checked according to individual criteria. A regression equation was compiled, which was used to make a short-term forecast for 2021-2022. A set of measures necessary to reduce the indicator on the volume of discharge of contaminated wastewater is indicated.

**Keywords:** wastewater, mathematical model, factor field, regression equation, forecast, set of measures.

**Введение.** Проблема экологии на протяжении многих лет остается одной из главных и трудно-решаемых проблем для России. Одна из которых, загрязнение водных бассейнов сбросами загрязнённых сточных вод, до сих пор остается нерешенной.

Сброс сточных вод может производиться в канализационные системы, в водоемы различного назначения и непосредственно на рельеф. При этом, естественно, страдает экология, что недопустимо в соответствии с природоохранным законодательством нашей страны.

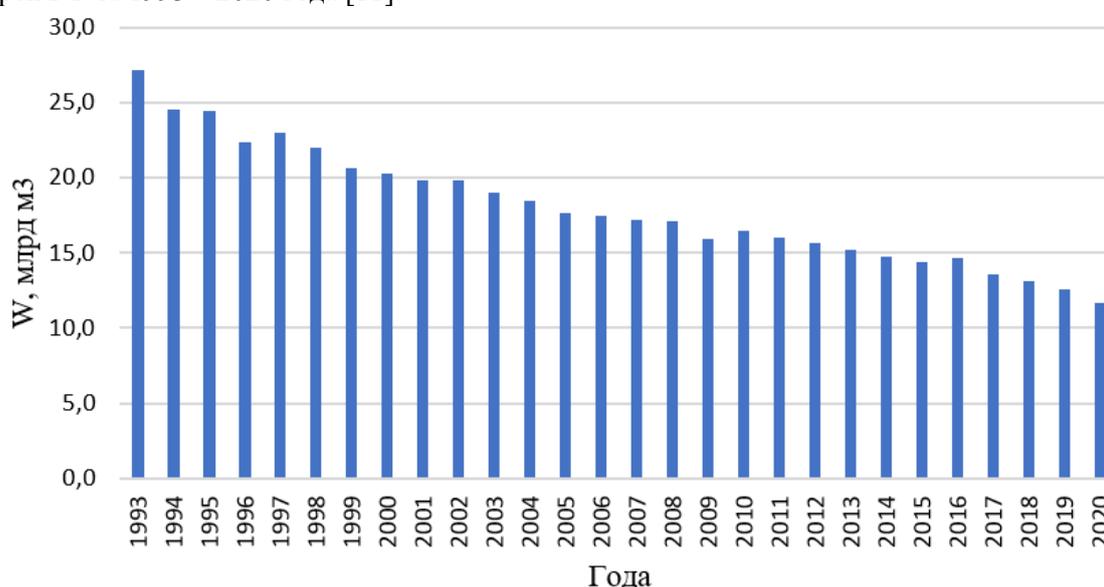
В августе 2019 г. в городе Курск произошла авария, повлекшая за собой не малый ущерб для предприятия «Водоканал». Результаты расследования показали, что компания «Экотекс» сбросила в канализацию сточные воды, превышающие допустимые нормы. В стоке находились химические и токсичные вещества, в следствии чего ил умер, и очистка не могла происходить должным образом. Эта авария повлекла за собой негативные последствия не только для предприятий, но также и для речных жителей, и для жителей близ лежащих населенных пунктов. По Российскому законодательству компании придется возместить нанесенный ущерб, средства пойдут на восстановления ила и рыб [1].

Все промышленные, коммунальные и сельскохозяйственные производства в РФ, имеющие прямые выпуски сточных вод в водные объекты, должны нормировать нагрузку на водные объекты на основе расчета нормативов допустимого сброса, а бассейновые водные управления разрабатывать бассейновые нормативы допустимого воздействия на весь водный объект.

**Актуальность темы исследования.** Анализ объема сброса загрязненных сточных вод является актуальной задачей, так как способствует своевременному принятию необходимых мер по снижению и предотвращению социальных, экологических и экономических рисков.

При подготовке настоящей статьи были использованы результаты исследований различных авторов, в которых показано, что основными причинами загрязнения поверхностных вод отдельных бассейнов остаются береговые объекты речного флота, золотодобывающие предприятия и промышленные центры, угледобывающие предприятия, железнодорожный транспорт, объекты коммунального хозяйства [3]. Качество питьевой воды, подаваемой населению из централизованных и нецентрализованных источников водоснабжения, остается низкой из-за отсутствия или низкой эффективности мероприятий по предотвращению сброса загрязненных сточных вод. Результаты прогнозных расчетов показали, что нагрузка на окружающую природную среду будет возрастать, поэтому необходимо повышенное внимание со стороны государства к разработке и внедрению мер совершенствования экологической политики [6].

**Материал и методы исследований.** Материалами исследования стали официальные данные Службы государственной статистики РФ по объему сброса загрязненных сточных вод по бассейнам рек и морей РФ за 1993 – 2020 года [11].



**Рисунок 1. Ряд динамики объема сброса загрязненных сточных вод по бассейнам отдельных рек и морей РФ**

Для расчета нормативов допустимого сброса используются методы математического моделирования с обеспечением заданных стандартов качества воды в контрольном створе. Моделирование позволяет просчитать различные варианты протекания процессов и дать прогноз экологической ситуации в результате техногенных воздействий на окружающую среду, а также позволяет прогнозировать развитие ситуации в целом, выявлять критичные места, быстро принимать решения и оперативно реагировать на отрицательные изменения экологической ситуации. Математическое моделирование успешно применяется при анализе экономических объектов и процессов [5]; проверки гипотез о взаимодействии отдельных элементов и подсистем; выборе оптимальной стратегии проведения сельскохозяйственных мероприятий [9]; прогнозировании процессов электропотребления, а также связанных с ним и иных процессов [2].

Как видно из Рисунка 1. объем сброса загрязненных сточных вод по бассейнам отдельных рек и морей РФ за исследуемый период времени снизился в 2,3 раза. Возможные причины снижения: сокращение количества сточных вод; очищение русла рек от бытовых отходов и проведение работы по углублению дна; усиление государственного мониторинга; установка строгого контроля за водозабором.

Снижение показателя происходит неравномерно, прослеживаются слабые колебания с 1993 по 2017 года. Возможно построение 2-х типов моделей прогноза: линейной, либо циклической. За период наблюдений показатель имел максимальный ежегодный рост до 4 %, либо предельное ежегодное снижение до 10 %. Для ряда наблюдений характерны незначительные ежегодные изменения.

Проверка пригодности исходных данных для моделирования происходит методами описательной и аналитической статистики. Результаты описательной статистики приведены в Таблице 1.

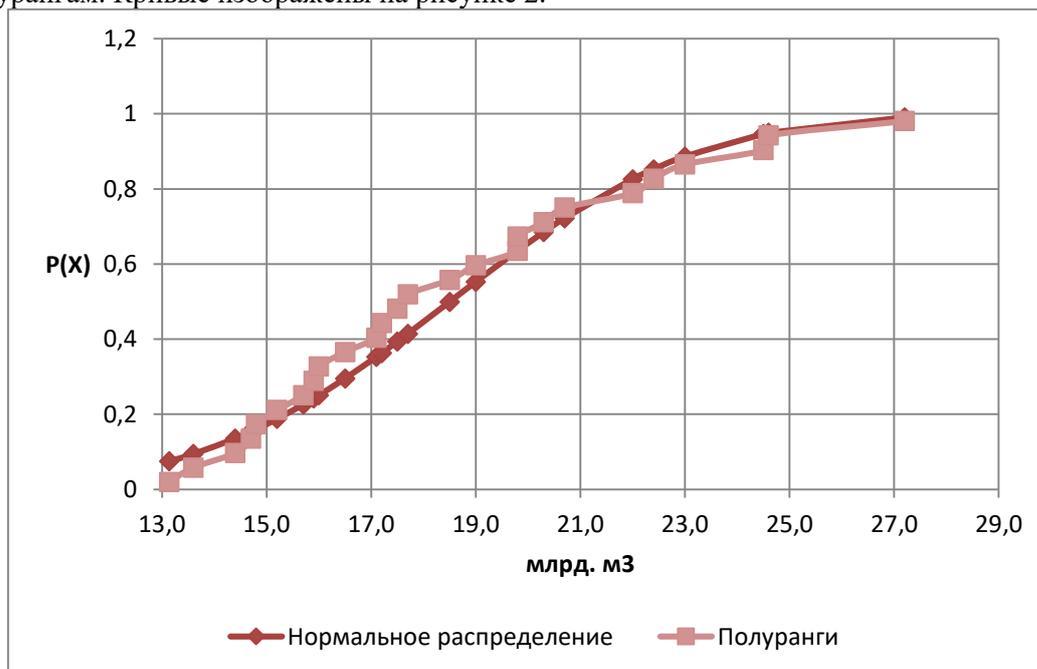
Таблица 1.

**Описательная статистика данных наблюдений**

Среднее	18,50905577
Стандартная ошибка	0,730728051
Медиана	17,6
Мода	19,8
Стандартное отклонение	3,725996589
Дисперсия выборки	13,88305058
Экссесс	-0,339024543
Асимметричность	0,631929478
Интервал	14,06455
Минимум	13,13545
Максимум	27,2
Сумма	481,23545
Счет	28

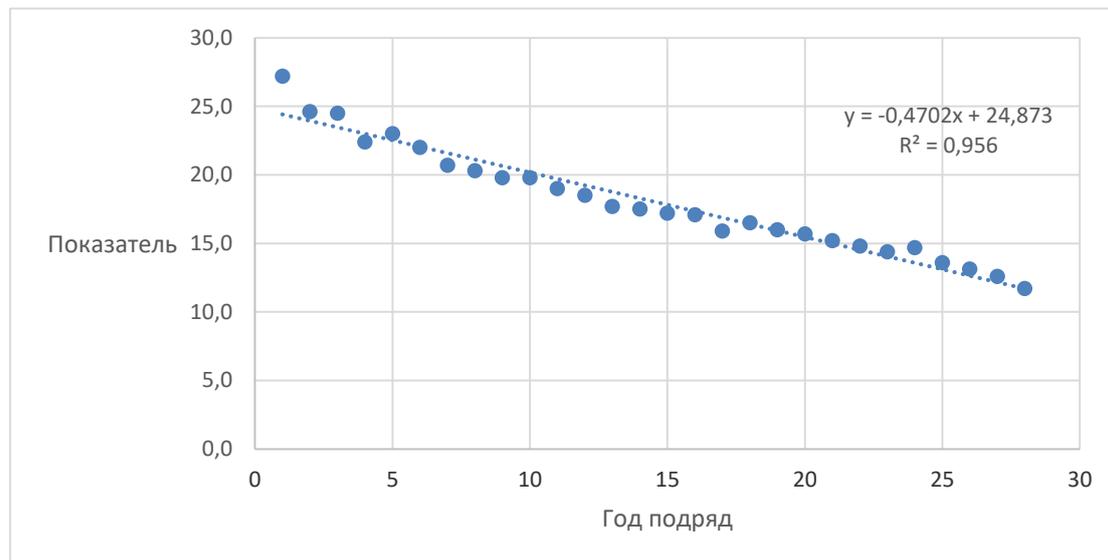
Для математического описания ряда была использована одна из моделей прогноза – линейная регрессия. Надежный прогноз возможен в том случае, когда выборочные значения прогнозируемого показателя имеют нормальное распределение. Для проверки этого предварительно смотрят на выполнение следующих условий: среднее, мода и медиана примерно равны между собой ( $X_v = 18,5$ ;  $M_o = 19,8$ ;  $M_e = 17,6$  – условие выполнено); асимметрия должна лежать в интервале  $[-0,25...0,25]$  ( $A_s = 0,63$  – условие не выполнено); эксцесс может быть округлен до 0 ( $E_x = -0,34 \approx 0$  – условие выполнено).

Для более точной проверки сложной гипотезы о виде распределения используем критерий, рекомендованный ГОСТ Р 50.1.037-2002 – а именно критерий Крамера-Мизеса-Смирнова. [8]. Этот критерий успешно применяется в практике обработки данных в водоснабжении [11]. Критерий сравнивает отклонения интегральной кривой нормального и выборочным распределением, полученным по полурангам. Кривые изображены на рисунке 2.

**Рисунок 2. Интегральные и выборочные кривые распределения**

Вероятность того, что выборочное распределение не противоречит нормальному распределению, полученная в результате работы критерия равна  $p = 33,13\%$ . на уровне значимости  $\alpha = 5\%$ , нулевая гипотеза была принята, т.к.  $p > \alpha$ .

Для построения модели прогноза изменения динамики показателей объема сброса загрязненных сточных вод по бассейнам отдельных рек и морей РФ по годам построены факторное поле и линия регрессии (рисунок 3).



**Рисунок 3. Факторное поле**

Качество полученной модели было проверено по следующим критериям:

1. Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,96 > 0,33$ , следовательно, 96% изменения объема сброса связаны со временем;
2. Модель адекватна по критерию Фишера (значимость  $F \approx 0,00$ , что меньше принятого уровня значимости  $\alpha = 0,05$ );
3. Критерий Стьюдента, который говорит о статистической значимости коэффициентов в уравнении регрессии, имеет значения вероятности  $P$  меньше принятого уровня значимости  $\alpha = 0,05$ . Коэффициенты в модели признаны статистически значимыми.
4. Автокорреляция остатков проверена с помощью критерия Дарбина, Полученное значение  $DW = 0,69$  с учетом критических значений  $dL = 1,089$  и  $dU = 1,233$  показало возможное наличие положительной автокорреляции. Для выяснения возможных циклических колебаний был выполнен лаговый анализ, который показал отсутствие статистически значимых коэффициентов частной корреляции. Статистически достоверных колебаний в исследуемом ряду динамики не обнаружено.

Анализ совокупности выполненных проверок показал, что модель пригодна для дальнейшего анализа. Объем сброса загрязненных сточных вод по бассейнам морей и рек в российской Федерации может быть описан уравнением:

$$y = -0.4702x + 24.873, \text{ млрд. м}^3,$$

где  $x$  – порядковый номер года в ряду наблюдений.

Полученное уравнение регрессии было использовано для составления краткосрочного прогноза на 2021 – 2022 годы, согласно которому в 2021 году показатель составит 11,2 млрд. м<sup>3</sup>, в 2022 году 10,8 млрд.м<sup>3</sup>.

Для уменьшения показателя по объему сброса загрязненных сточных вод необходимо проводить комплекс мер., перечисленный ниже.

В населенных пунктах условия эксплуатации и использования очистных сооружений должны улучшаться преимущественно путем: совершенствования технологических циклов очистки и доочистки с использованием химических коагулянтов; более эффективных методов предварительной обработки промышленных сточных вод на локальных очистных сооружениях; совершенствования контрольно-измерительного оборудования промышленных предприятий.

Должны ограничиваться риски от вредных для здоровья и экосистемы веществ.

Сточные воды практически от всех целлюлозно-бумажных фабрик должны проходить биологическую, химическую или биолого-химическую очистку.

Масса загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты со сточными водами химической, металлургической, пищевой или горнодобывающей промышленности (любой иной промышленности, являющейся аналогичным источником загрязнения), может быть очищена путем усовершенствования технологических процессов и интенсификации локальной обработки сточных вод на предприятиях, сбрасывающих сточные воды как непосредственно в водоем, так и в сети городских очистных сооружений.

Поступление взвешенных веществ от эрозии почв и загрязнение соединениями азота водных объектов могут быть значительно уменьшены путем: усовершенствования методов земледелия; создания буферных и водоохраных зон; внедрения технологий внесения удобрений, обеспечивающих сокращение чрезмерного их применения; уменьшения применения пестицидов и предотвращения их попадания в поверхностные и подземные воды.

В животноводстве должны быть улучшены и усовершенствованы хранилища для силосной жидкости и навоза с тем, чтобы обеспечить хранение годового объема, а при необходимости должны быть построены специальные очистные сооружения. В лесном хозяйстве осушение, удобрение и вырубki должны планироваться и выполняться с обеспечением существенного уменьшения ущербов для поверхностных и подземных вод.

Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Снежко Вере Леонидовне за ценные советы при подготовке статьи.

### Литература

1. Аварии на очистных сооружениях. Электронный ресурс. URL: <https://ecostandart.com/info/articles/poleznoe/avarii-na-ochistnykh-sooruzheniyakh-primery/>
2. Галустов Г.Г., Бровченко С.П., Мелешкин С.Н. Математическое моделирование и прогнозирование в технических системах: Учебное пособие. – Таганрог: Из-во ТТИ ЮФУ, 2008. – С. 12;
3. Калашникова И.В., Филиппова К.В. Развитие промышленности регионов Дальнего востока России и эффект декаплинга // ВЕСТНИКТОГУ, 2019. – №1. – С. 114;
4. Марголина Е.В. Экономические механизмы стимулирования уменьшения сбросов загрязненных сточных вод // Природообустройство, 2016. - № 2. – С. 95 – 99;
5. Мицель А.А. Математическое и имитационное моделирование экономических процессов. – Томск: Изд-во ТГУ, 2016. – С. 7;
6. Мкртчян Г.М., Тагаева Т.О., Цвелодуб Ю.О. Анализ и прогноз экологической нагрузки в России // Мир экономики и управления, 2017. – Том 17, №1. – С. 61-65;
7. Паливец М.С. Методы моделирования в водопользовании: учебное пособие. Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). — Электрон. текстовые дан. — Москва: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016 — 84 с.: Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. Электронный ресурс. URL: <http://elib.timacad.ru/dl/local/146.pdf>;
8. Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии. Р 50.1037-2002. Госстандарт России. Москва, 2002г. – С. 23;
9. Скоринкин А.И. Математическое моделирование биологических процессов: Учебно-методическое пособие. – Казань: Казан.ун-т, 2015. – С. 16-18;
10. Снежко В.Л., Бенин Д.М. К вопросу определения потерь напора в трубопроводах // Перспективы науки. 2011. № 2 (17). С. 75-79.
11. Федеральная служба государственной статистики. Электронный ресурс. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.

### References

1. Avarii na ochistny`x sooruzheniyax. E`lektronny`j resurs. URL: <https://ecostandart.com/info/articles/poleznoe/avarii-na-ochistnykh-sooruzheniyakh-primery/>
2. Galustov G.G., Brovchenko S.P., Meleshkin S.N. Matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie v texnicheskix sistemax: Uchebnoe posobie. – Taganrog: Iz-vo TTI YuFU, 2008. – С. 12;
3. Kalashnikova I.V., Filippova K.V. Razvitie promy`shlennosti regionov Dal`nego vostoka Rossii i e`ffekt dekaplinga // VESTNIKTOGU, 2019. – №1. – S. 114;
4. Margolina E.V. E`konomicheskie mexanizmy` stimulirovaniya umen`sheniya sbrosov zagryaznenny`x stochny`x vod // Prirodoobustrojstvo, 2016. - № 2. – S. 95 – 99;
5. Miceľ A.A. Matematicheskoe i imitacionnoe modelirovanie e`konomicheskix processov. – Tomsk: Izd-vo TGU, 2016. – S. 7;

6. Mkrtchyan G.M., Tagaeva T.O., Czvelodub Yu.O. Analiz i prognoz e`kologicheskoy nagruzki v Rossii // Mir e`konomiki i upravleniya, 2017. – Tom 17, №1. – S. 61-65;
7. Paliivec M.S. Metody` modelirovaniya v vodopol`zovanii: uchebnoe posobie. Rossijskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet - MSXA imeni K. A. Timiryazeva (Moskva). — E`lektron. tekstovy`e dan. — Moskva: RGAU-MSXA im. K. A. Timiryazeva, 2016 — 84 s.: Kollekcija: Uchebnaya i uchebno-metodicheskaya literatura. E`lektronny`j resurs. URL: <http://elib.timacad.ru/dl/local/146.pdf>;
8. Rekomendacii po standartizacii. Prikladnaya statistika. Pravila proverki soglasiya opy`tnogo raspredeleniya s teoreticheskim. Chast` II. Neparаметрические критерии. R 50.1037-2002. Gosstandart Rossii. Moskva, 2002g. – S. 23;
9. Skorinkin A.I. Matematicheskoe modelirovanie biologicheskix processov: Uchebno-metodicheskoe posobie. – Kazan`: Kazan.un-t, 2015. – S. 16-18;
10. Snezhko V.L., Benin D.M. K voprosu opredeleniya poter` napora v truboprovodax // Perspektivy` nauki. 2011. № 2 (17). S. 75-79.
11. Federal`naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. E`lektronny`j resurs. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.

**Данные об авторе:**

**Хуцишвили Анна Тенгизовна**, бакалавр, магистрант, направление Природообустройство и водопользование в магистратуре РГАУ-МСХА.

*e-mail: [anna.hutsishvili@gmail.com](mailto:anna.hutsishvili@gmail.com)*

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева.

Ул. Тимирязевская, 49, 127550, Москва, Россия

**Data about the author:**

**Khutsishvili Anna Tengizovna**, bachelor, master's student, magistracy of Environmental management and water use in Timiryazev Agricultural Academy.

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

Timiryazevskaya str.49, 127550, Moscow, Russia

**Рецензент:**

**Снежко В.Л.**, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов РГАУ-МСХА.

DOI: 10.26897/2618-8732-2021-23УДК

УДК 631.6

**ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛГОГРАДСКОЙ ГЭС И ПУТИ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ**

**Савельев А.В.**

В статье проанализированы изменения продуктивности естественных биоценозов и плодородия почв Волго-Ахтубинской поймы после строительства Волгоградского водохранилища. Приведена методика количественной оценки продуктивности естественных биоценозов, изменения содержания гумуса в почвах и относительного плодородия пойменных почв. Показаны эффективность различных вариантов весенне-летних попусков и усиления естественной дренированности поймы. Приведенные материалы могут быть использованы при обосновании рационального использования водных, земельных и биологических ресурсов Волго-Ахтубинской поймы.

**Ключевые слова:** плодородие почвы, геоморфология, гидроэнергетика, радиационный баланс, почвообразование, соленакопление, гидротермический режим, биопродуктивность, биогеоценоз.

**CHANGES IN SOIL FERTILITY OF THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN AS A RESULT OF THE CONSTRUCTION OF THE VOLGOGRAD HPP AND WAYS TO IMPROVE IT**

**Savelyev A.V.**

The changes in the productivity of natural biocenoses and soil fertility of the Volga-Akhtuba floodplain after the construction of the Volgograd reservoir are analyzed. The method of quantitative assessment