

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.351-367>

УДК 631.57+631.6



Применение геостатистических методов при разработке ландшафтно-адаптивного землепользования

© 2019. Д. А. Иванов ✉

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», п. Эммаусс, Тверская область, Российская Федерация

В статье описаны способы использования статистических методов в сельскохозяйственной географии. Показано применение дисперсионного анализа при определении влияния геокомплексов различного ранга на урожайность растений и другие параметры хозяйств. Вариабельности урожайности, кислотность почв, доля пастбищ и залежей менее чем на 30% определяются особенностями природной среды геосистем, а изменчивость содержания элементов питания растений, каменистости и заболоченности почв, а также доля сенокосов на 30-50%. Другие элементы структурной организации предприятий более чем на половину определяются особенностями территории разного уровня. Процесс определения набора культур должен опираться на знания о вариабельности их урожайности в пределах типов и видов агроландшафтов, а по возможности и на более низких таксономических уровнях. Степень освоенности агроландшафтов и средний размер контура угодий определяется уже при анализе условий макросреды. Применение путевого анализа позволяет выделить факторы прямого воздействия на культуры, которые разделяются на «активные» и «потенциальные». Все типы агроландшафтов Верхневолжья по числу активных и потенциальных факторов можно разделить на две группы – геокомплексы с гомогенной литогенной основой и ландшафты на двучленах. Последние отличаются большим количеством активных факторов и более широким диапазоном подвергающихся их воздействию культур. Проектирование севооборотов должно учитывать индивидуальный набор факторов, воздействующих на продукционный процесс. Методика оценки продуктивности агроландшафтов может быть основана на использовании ее интегральных показателей. Определены системы мероприятий, повышающих степень реализации потенциальной продуктивности агроландшафтов для злакобобовых травостоев. Они объединяются в три группы: 1. Адаптивное размещение травостоев в зависимости от гранулометрического состава и геологического строения почв. 2. Адаптивное размещение травостоев и осушительно-оросительные мелиорации. 3. Адаптивное размещение травостоев, водные мелиорации и землеустроительные мероприятия. Выявлены ареалы распространения этих групп мероприятий в пределах Верхневолжья.

Ключевые слова: адаптивно-ландшафтные системы земледелия, статистический анализ, агрогеосистемы, агротехнологические мероприятия

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ВНИИМЗ (тема № 0651-2019-0005).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванов Д. А. Применение геостатистических методов при разработке ландшафтно-адаптивного землепользования. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(4):351-367. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.351-367>

Поступила: 20.06.2019

Принята к публикации: 22.07.2019

Опубликована онлайн: 30.08.2019

Application of geostatistical methods in the development of landscape-adaptive land use

© 2019. Dmitri A. Ivanov ✉

Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, Settlement Emmaus, Tver Region, Russian Federation

The article describes the ways of using statistical methods in agricultural geography. The use of analysis of variance in determining the influence of geocomplexes of various ranks on the yield of plants and other parameters of farms is shown. It was found that yield variability, soil acidity, the proportion of pastures and fallow lands are less than 30% determined by the characteristics of the natural environment of geosystems and the variability of plant nutrients, stony and marshy soil, and the share of haymaking by 30-50%. Other elements of the structural organization of enterprises are more than half determined by the peculiarities of the territories of different levels. The process of determining a set of crops should be based on knowledge of the variability of their yields within the types of agricultural landscapes, and, if possible, at lower taxonomic levels. The degree of development of agricultural landscapes and the average size of the contour of the land is determined even when analyzing the conditions of the macroenvironment. The use of track analysis allows to identify the factors of direct impact on the crops which are divided into "active" and "potential". It has been established that all types of agricultural landscapes of the Upper Volga region can be divided into two groups according to the number of active and potential factors: geocomplexes with a homogeneous lithogenic basis and landscapes on two-membered sediments. The latter are distinguished by a large number of active factors and a wide range of affected

crops. The design of crop rotations should take into account an individual set of factors affecting the production process. The methodology for assessing the productivity of agricultural landscapes can be based on the use of its integral indicators. The systems of measures that increase the degree of realization of the potential productivity of agricultural landscapes for cereal grass stands have been determined. They are combined into three groups: 1. Adaptive placement of grass stands depending on the granulometric composition and the geological structure of the soil. 2. Adaptive placement of grass stands and drainage irrigation amelioration. 3. Adaptive placement of grass stands, water melioration and land management activities. Identified areas of distribution of these groups of activities in the Upper Volga region.

Key words: *adaptive-landscape farming systems, statistical analysis, agricultural geosystems, agrotechnological measures*

Acknowledgement: the work was performed in the framework of the State assignment of the FGBNU VNIIMZ (Topic № 0651-2019-0005).

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Ivanov D. A. Application of geostatistical methods in the development of landscape-adaptive land use. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(4): 351-367. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766.2072-9081.2019.20.4.351-367>

Received: 20.06.2019

Accepted for publication: 22.07.2019

Published online: 30.08.2019

Синтез агрономии и физической географии чреват появлением нового научного направления, называемого нами «сельскохозяйственной географией» – науки о возникновении, функционировании и развитии агрогеосистем [1]. Под агрогеосистемами понимаются геокомплексы, некоторые компоненты которых изменены в результате сельскохозяйственной деятельности человека.

Агрогеографические идеи высказываются некоторыми физико-географами [2, 3, 4, 5, 6] и учеными-аграриями [7, 8, 9, 10, 11]. Для сельскохозяйственной географии большое значение имеют исследования воздействия ландшафтной среды на продуктивность культурных растений и особенности их выращивания. На основе полученных знаний можно проектировать новейшие ландшафтно-мелиоративные системы земледелия, позволяющие определять экологические адреса для агротехнических мероприятий и, тем самым, адаптировать растениеводство к условиям природной среды. Особое место занимают исследования влияния ландшафтов различных иерархических уровней на продукционный процесс растений и природно-производственные параметры хозяйств. Они позволяют создавать модели систем земледелия разного уровня и, тем самым, наиболее полно учитывать ландшафтные условия территорий при проектировании землепользований. Новизна работы заключается в обосновании соблюдения принципа иерархической парадигмы [1] при агрогеографических изысканиях фундаментального и прикладного характера.

Цель исследований – демонстрация результатов разнообразных геостатистических анализов пространственной изменчивости по-

казателей урожайности культур и особенностей природно-производственной среды хозяйств в различных ландшафтах на территории Тверской области.

Материал и методы. Так как проведение полевого эксперимента на уровне высших единиц типизации агрогеосистем практически невозможно, то изучение адаптивных реакций компонентов в их пределах проводится только на основе статистического анализа обширного фондового материала, содержащего не только данные о продуктивности основных групп сельскохозяйственных растений, но и характеризующего состояние природной среды анализируемых хозяйств.

Массив (банк) данных для изучения адаптивных реакций растений на высших уровнях типизации агрогеосистем создается путем сбора фондовой, статистической, картографической и литературной информации. В качестве примера приведем результаты наших исследований по Тверской области.

Различными методами статистического анализа нами были обработаны данные по 274 землепользованиям Тверской области, равномерно расположенным на ее территории. Каждое хозяйство характеризовалось по 31 параметру. Весь массив данных разделен на 5 блоков, каждый из которых соответствует одному из компонентов агроландшафта:

А. Гидроклиматический блок:

1. Среднегодовое количество осадков, мм.
2. Среднемесячное количество осадков, мм.
3. Среднемесячное количество осадков, мм.
4. Континентальность климата.
5. ГТК.
6. Теплообеспеченность почв (У).
7. Запас в пахотных горизонтах продуктивной влаги, мм.
8. Сроки поспевания почвы, баллы.
9. Площадь заболоченных угодий, %.
10. Площадь заболоченных пашен, %;

Б. Оролитогенный блок:

11. Абсолютная высота хозяйства, м. 12. Максимальный перепад высот в пределах хозяйства, м. 13. Содержание физической глины в пахотных горизонтах, %.

В. Блок плодородия почв:

14. Почвенный бонитет, баллы. 15. Закамененность угодий, %. 16. Содержание K_2O в пахотных горизонтах, мг/100 г. 17. Содержание P_2O_5 в пахотных горизонтах, мг/100 г. 18. Показатель $pH_{КС1}$ в пахотных горизонтах.

Г. Блок биопродуктивности:

19. Среднемноголетняя продуктивность зерновых культур, ц/га. 20. "-"- соломки льна, ц/га. 21. "-"- картофеля, ц/га. 22. "-"- однолетних трав, ц/га. 23. "-"- многолетних трав, ц/га.

Д. Блок организации угодий хозяйства.

24. Средний размер контура угодья, га. 25. Доля пашни в территории хозяйства, %. 26. Доля залежей, %. 27. Доля сенокосов, %. 28. Доля пастбищ, %. 29. Доля не сельскохозяйственных территорий, %. 30. Суммарная доля лугов, %. 31. Соотношение луг/пашня.

Данные из литературных и статистических источников черпаются непосредственно по выделенным хозяйствам, в то время как работа с картографическим материалом проводится иначе. Начальным этапом картографических работ является создание схемы расположения отобранных хозяйств в пределах изучаемой территории. Создается электронный вариант этой схемы, который совмещается с картами, несущими интересующую исследователя информацию. В ряде случаев информация с карт снимается непосредственно, однако при определении агроклиматических и некоторых других параметров приходится прибегать к процедуре интерполяции – например, среднемноголетняя температура летних месяцев в хозяйстве, расположенном между изотермами, определяется по степени близости его к той или иной изолинии.

Характеристика района всегда избирательна. В данном случае отбирались факторы, описывающие основные компоненты агрогеосистем – слой приземного воздуха, оролитогенную основу ПТК, культурную биоту, почвы. Антропогенный компонент отражался в виде параметров структурной организации сельскохозяйственного производства.

Суть статистического подхода к изучению адаптивных реакций компонентов агрогеосистем заключается в разделении наблюдаемой изменчивости их параметров на две компоненты: закономерную и случайную составляющие, и в последующем изучении закономерной составляющей на фоне случайной. В агрогеогра-

фии важную роль в изучении закономерной составляющей, помимо общепринятых статистических процедур, играют и геостатистические методы исследования [12, 13, 14]. В работе применяли методы пространственной группировки точек опробования и обработки банков данных трехфакторным дисперсионным и путевым анализами, а также использование интегральных параметров продуктивности агроландшафтов при разработке мероприятий адаптивно-ландшафтного земледелия.

Для полноценной интерпретации результатов статистического анализа и выявления его прикладного значения необходимо проводить качественный анализ (описание) природной среды исследуемых ландшафтов.

Результаты и их обсуждение.

1. Применение дисперсионного анализа в агрогеографической практике.

Наиболее адекватный уровень разработки элементов системы земледелия должен определяться в ходе анализа иерархической структуры факторов природной среды. Он должен показывать уровни, на которых изучаемый фактор проявляется наиболее сильно, а также таксономические ячейки, в которых им можно пренебречь. Наиболее полно иерархическую структуру факторов отражает дисперсионный анализ для неорганизованных планов. Ниже изложены результаты трехфакторного дисперсионного анализа зависимости урожайности культур и некоторых других производственных и природных параметров хозяйств от свойств агроэкологических разделов (А), родов агроландшафтов (В) и типов агроландшафтов (С).

Под агроэкологическим разделом (АР) понимается крупная территория, занимающая ландшафтную провинцию (или ее часть). В Тверской области насчитывается 4 АР (рис. 1). Площадь Валдайского АР хвойно-широколиственных лесов, в пределах области, равна 27,2 тыс. км². Близость к Балтийскому морю обуславливает здесь мягкость зимы, обильные осадки, низкую континентальность климата и высокий гидротермический коэффициент (ГТК). Основной тип рельефа – конечно-моренные гряды, а отложений – донная и конечная морена валдайского (вюрмского) ледника. Большая часть хозяйств здесь расположена на высоте 193 м над уровнем моря, в их пределах наблюдаются значительные перепады высот, закамененность почв, мелкоконтурность угодий, значительная доля смытой пашни. Близкое залегание к поверхности моренных суглинков обусловило значительные запасы калия и фосфора в пахотных горизонтах.

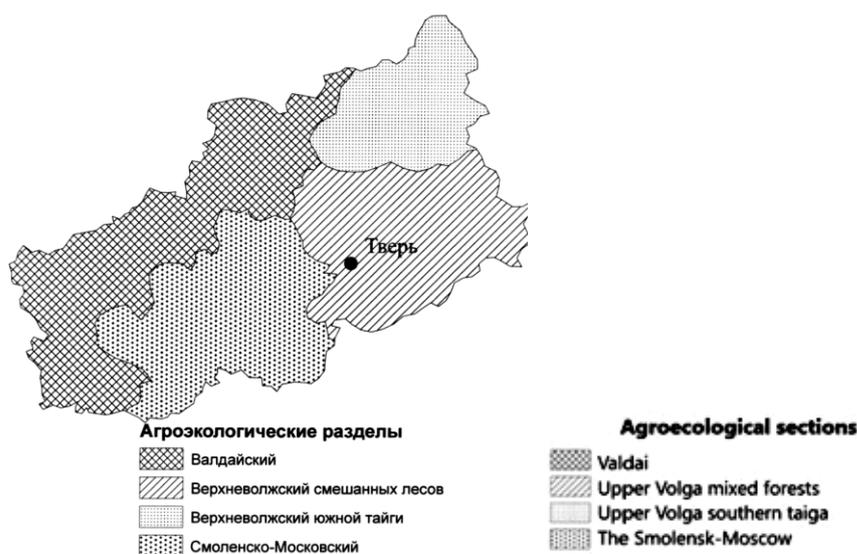


Рис. 1. Агроэкологические разделы Верхневолжья¹ /
 Fig. 1. Agro-environmental sections of the Upper Volga region

Площадь Смоленско-Московского АР хвойно-широколиственных лесов равна 21,7 тыс. км². Характер его климата отличается от вышеописанного более холодной зимой, меньшим количеством осадков и пониженным ГТК. Его оролитогенная основа образовалась в результате застоя ледниковых вод и отличается от вышеописанной территории значительным возрастом и большей однородностью. Преобладающий тип рельефа – увалистые равнины, отложений – пылеватые покровные суглинки. Средняя высота хозяйств равна 224 м над уровнем моря. Здесь характерно эрозионное расчленение территории (средний перепад высот в хозяйстве – 69 м), малая закамененность угодий, значительное распространение смытых почв, относительно большой размер контура угодья. По сравнению с Валдайским АР здесь наблюдается более высокий бонитет почв, вследствие значительных запасов гумуса и содержания физической глины, однако показатель рН пахотного слоя и содержание в нем калия и фосфора заметно ниже.

Верхневолжский АР южной тайги занимает 12,8 тыс. км². Его климат отличается повышенной континентальностью и относительно низкими январскими температурами. Его поверхность значительно древнее Валдайского и Смоленско-Московского АР и характеризуется большой однородностью в литологическом, орографическом и неотектоническом отношениях. Господствующий тип рельефа – слабоувалистые равнины, отложений – покровные и моренные суглинки. Средняя высо-

та хозяйств над уровнем моря составляет 156 м, вариабельность высот около 22%. АР характеризуется малой закамененностью почв, но значительной их эрозией. Почвенный бонитет здесь весьма высок вследствие больших запасов гумуса, фосфора и калия в пахотных горизонтах, что отражается на среднем размере контура угодья.

В Верхневолжском АР хвойно-широколиственных лесов, площадью 23,0 тыс. км², наблюдается максимальная, для Тверской области, континентальность климата. В основном он состоит из плоских моренно-зандровых, зандровых и аллювиально-зандровых равнин, испытывающих интенсивное опускание. Средний высотный уровень расположения хозяйств здесь равен 148,4 м. Максимальный перепад высот составляет менее 48 м. АР характеризуется значительной закамененностью почв, что препятствует созданию больших угодий (средний размер контура равен 6,5 га). Почвенный бонитет весьма высок, что обусловлено значительным содержанием гумуса.

В пределах каждого агроэкологического раздела выделяются роды агроландшафтов, которые не обладают, в отличие от вышеописанных агрогеосистем, монолитными ареалами. Характерные черты их природной среды обусловлены гранулометрическим составом почвообразующих пород. Выделяют «песчаные» и «суглинистые» роды агроландшафтов². Они объединяются во внетаксономические совокупности, называемые группами [15].

¹Атлас Калининской области. М.: ГУТК, 1964. 34 с.

²Ковалев Н. Г., Ходырев А. А., Иванов Д. А., Тюлин В. А. Агроландшафтоведение. Учебное пособие. РАСХН, 2004, Минсельхоз, ТГСХА, ВНИИМЗ, Тверь-Москва, 490 с.

Род агроландшафтов состоит из типов агроландшафтов. Тип агроландшафтов (ТА) – территория совместимая с конкретным типологическим физико-географическим ландшафтом – геосистемой, характеризующейся единым генезисом рельефа и почвообразующих пород и максимальной выраженностью вертикальных и горизонтальных взаимосвязей компонентов географической оболочки. Его выде-

ление в пределах макротерритории осуществляется на основе изучения сочетаний важнейших компонентов ландшафта и, прежде всего, типов водного питания территории, почвообразующих пород, почв, рельефа, растительных ассоциаций. В Тверской области насчитывается одиннадцать внетаксономических групп типов агроландшафтов (ТА) (рис. 2, табл. 1).



Рис. 2. Типы агроландшафтов Тверской области [16] / Fig. 2. Types of agricultural landscapes of the Tver region

Структура изучаемого иерархического комплекса представлена в таблице 2. Для целей дисперсионного анализа были отобраны хозяйства, расположенные в типах агроландшафтов, принадлежащих к четырем внетаксономическим группам. Это объясняется тем, что только моренные равнины Московского (Миндель) и Валдайского (Вюрм) возраста (4), песчано-суглинистые озерно-ледниковые равнины (6), моренно-озерно-ледниковые равнины (7) и моренно-зандровые равнины (8) представлены во всех агроэкологических разделах.

Агрогеосистемы, принадлежащие к одной группе типов агроландшафтов, но расположенные в различных АР, отличаются друг от друга в агроклиматическом и неотектоническом отношении. Типы агроландшафтов, расположенные в пределах одного АР, но относящиеся к различным родам, отличаются друг от друга гранулометрическими особенностями почв. Геокомплексы, входящие в один АР и один род агроландшафтов, отличаются друг от друга степенью распространенности моренных отложений и геоморфологическими параметрами.

Результаты дисперсионного анализа приведены в таблице 3. Ранжирование параметров хозяйств по степени влияния на их

пространственную вариабельность изучаемых факторов позволило разделить их на три группы: 1. Параметры, менее 30% вариабельности которых определяется анализируемыми факторами. 2 – от 30 до 50%. 3 – более 50%.

В первую группу входят такие параметры, как: урожайность культур, кислотность почв, а также доля пастбищ и залежей в хозяйствах. Во вторую – содержание элементов питания растений в почвах, каменистость и заболоченность почв, а также доля сенокосов. Третья группа – другие элементы структурной организации сельскохозяйственных предприятий.

Если учесть, что остатки (значения, отличные от трендовых) в данном случае характеризуют разницу между хозяйствами в пределах конкретного типа агроландшафтов, то следует предположить, что они отражают неоднородность агрогеосистемных параметров на уровне видов агроландшафтов – физико-географических местностей. Можно заявить, что параметры первой группы в основном варьируют на уровне низших мезоединиц, тогда как особенности структурной организации хозяйств более чем на половину зависят от условий макро- и высших мезоединиц.

Таблица 1 – Характеристика природных условий основных типов агроландшафтов Тверской области

Название ТА и номер	Характеристика природных условий
Моренно-эрозионные равнины (1)	Приподнятые дренируемые пологоувалистые, реже волнистые Московского возраста моренно-эрозионные равнины с чехлом покровных лессовидных суглинков. Сильноосвоенные, с остатками еловых, елово-широколиственных лесов на дерново-подзолистых пылевато-суглинистых почвах.
Крупнохолмистые моренные равнины (2)	Возвышенные, дренируемые, крупнохолмистые, с участками конечно-моренно-грядового рельефа, преимущественно валунно-суглинистые среднеосвоенные моренные равнины Московского возраста с еловыми, елово-сосновыми и елово-мелко-лиственными лесами на дерново-подзолистых, преимущественно-суглинистых почвах.
Холмистые моренные равнины (3)	Приподнятые и возвышенные дренируемые холмистые и холмисто-грядовые с многочисленными озерными котловинами озами и камами Валдайского возраста моренные равнины с неоднородным чехлом поверхностных отложений, слабоосвоенные с еловыми, елово-сосновыми и елово-мелколиственными лесами на дерново-подзолистых разного гранулометрического состава почвах.
Московские и Валдайские моренные равнины. (4)	Приподнятые, замедленно дренируемые волнистые, с участками холмистого рельефа супесчано-суглинистые моренные равнины Московского и Валдайского возраста, среднеосвоенные с еловыми, елово-широколиственными и мелколиственными лесами на дерново-подзолисто-глеевых преимущественно суглинистых почвах.
Московские и алдайские зандровые равнины (5)	Низменные, реже приподнятые, замедленно дренируемые, пологоволнистые, песчаные равнины Московского и Валдайского возраста, слабо- и среднеосвоенные с сосново-мелколиственными лесами на подзолистых, дерново-подзолистых и дерново-подзолисто-глеевых песчаных почвах.
Озерно-ледниковые равнины (6)	Низменные, реже приподнятые, недренируемые плоские песчаные и песчано-глинистые равнины, преимущественно слабоосвоенные с сосновыми, елово-сосновыми и мелколиственными лесами на дерново-подзолисто-глеевых и торфянисто-подзолисто-глеевых песчаных почвах.
Моренно-озерно-ледниковые равнины (7)	Разновысотные, замедленно дренируемые пологоволнистые, реже плоские песчано-суглинистые (иногда перекрытые маломощным слоем покровных суглинков) моренно-озерно-ледниковые равнины, среднеосвоенные с сосново-еловыми и мелколиственными лесами на дерново-подзолисто-глеевых разного гранулометрического состава почвах.
Моренно-зандровые равнины (8)	Разновысотные, замедленно дренируемые волнистые, с участками холмистого рельефа моренно-зандровые равнины сложенные чередующимися песками и валунными суглинками, среднеосвоенные с сосново-еловыми и мелколиственными лесами на дерново-подзолистых и дерново-подзолисто-глеевых разного гранулометрического состава почвах
Аллювиальные и зандрово-аллювиальные равнины (9)	Низменные, плоские песчано-суглинистые аллювиальные и пологоволнистые. часто с мелкохолмистым еловым рельефом зандрово-аллювиальные песчано-супесчаные равнины, среднеосвоенные с сосняками в сочетании со злаково-разнотравными лугами на дерново-подзолистых и дерновых разного гранулометрического состава почвах
Болотные массивы (10)	Крупные массивы болот различного типа на торфяниках различной мощности и ботанического состава.
Долины рек (11)	Береговая зона крупных водоемов на заболоченных дерновых разного гранулометрического состава почвах

Table 1 – Characteristics of the natural conditions of the main types of agricultural landscapes in the Tver region

Moraine-erosion plains (1)	Elevated, drained, gentle, wavy, less often wavy Moscow-era moraine-erosional plains with a cover of loess-like loam. Strongly developed, with remnants of spruce, spruce-broad-leaved forests on sod-podzolic silt-loamy soils.
Large hilly moraine plains (2)	Elevated, drained, large-hilly, with areas of finite-moraine-ridge relief, mainly boulder-loamy, moderately developed moraine plains of Moscow age with spruce, spruce-pine and spruce-small-leaved forests on sod-podzolic, mainly-loamy soil.
Hilly moraine plains (3)	Elevated and exalted drained undulating and hilly ridges with numerous lake basins and kames Valdai age moraine plains with heterogeneous surface deposits, poorly developed with fir, spruce, pine and fir-aspen forests on sod-podzolic soils of different particle size distribution.
Moscow and Valdai moraine plains. (4)	Raised, slow-drained, wavy, with areas of hilly relief of sandy-loamy moraine plains of Moscow and Valdai age, moderately developed with spruce, spruce-broad-leaved and small-leaved forests on sod-podzolic-gley soil, mainly loamy.
Moscow and Valdai outwash plains (5)	Low-lying, less elevated, slow-drained, gently undulating sandy plains of Moscow and Valdai age, low and medium mastered with pine and aspen forests on podzolic, sod-podzolic and sod-podzolic-gley sandy soils.
Lake-glacial plains (6)	Lowland, less often raised, un-drained flat sandy and sandy-clayey plains, mostly poorly developed with pine, spruce-pine and small-leaf forests on sod-podzolic-gley and peaty-podzolic-gley sandy soils.
Moraine-glaciolacustrine plains (7)	Uneven, slow-drained gentle wavy, less often flat sandy-loamy (sometimes covered with thin layers of surface loam) moraine-lake-glacial plains, moderately mastered with pine-spruce and small-leaved forests on soil of different granulometry.
Moraine-outwash plains (8)	Different high-altitude, slow-drained, wavy, with areas of hilly relief moraine-sandstone plains composed of alternating sand and boulder loam, moderately mastered with pine-spruce and small-leaved forests on sod-podzolic soil of different granulometry.
Alluvial and outwash-alluvial plains (9)	Low-lying flat sandy-loamy alluvial and gentle wavy, often with a finely undulating eolian relief sandy-loamy plain medium mastered with pine forests in combination with grasses and mixed grass meadows on sod podzolic and Soddy different soil size distribution
Marsh areas (10)	Large arrays of bogs of various types on peatlands of various thickness and botanical composition.
River valleys (11)	The coastal zone of large reservoirs on swampy turf of different soil granulometry

Таблица 2 – Схема трехфакторного дисперсионного анализа влияния особенностей природной среды агрогеосистем различных иерархических уровней на природные и производственные параметры хозяйств / Table 2 – Scheme of three-factor dispersion analysis of the influence of environmental features of agro geosystems of different hierarchical levels on the natural and production parameters of farms

<i>Факторы 1-го порядка (специфика АР) / 1st order factors (agro-ecological section (AS) specifics)</i>	<i>Факторы 2-го порядка (специфика родов агроландшафтов) / Factors of the 2nd order (specificity of genera of agricultural landscapes)</i>	<i>Факторы 3-го порядка (специфика типов агроландшафтов) / Factors of the 3rd order (specificity of types of agricultural landscapes)</i>	<i>Количество повторностей (конкретных хозяйств) / Number of recurrences (specific farms)</i>
Валдайский / Valdai	Пески / Sands	6	12
		7	3
	Суглинки / Loam	8	6
		4	6
Смоленско-Московский / Smolensk-Moscow	Пески / Sands	6	4
		7	7
	Суглинки / Loam	8	4
		4	7
Верхневолжский южной тайги / Upper Volga southern taiga	Пески / Sands	6	11
		7	8
	Суглинки / Loam	8	5
		4	4
Верхневолжский смешанных лесов / Upper Volga mixed forests	Пески / Sands	6	11
		7	6
	Суглинки / Loam	8	6
		4	14

Таблица 3 – Оценка влияния природной среды агрогеосистем различных иерархических уровней на пространственную вариабельность агроэкологических параметров в пределах Тверской области / Table 3 – Assessment of the natural environment influence of agrogeological systems of different hierarchical levels on the spatial variability of agro-ecological parameters within the Tver region

<i>Параметры / Parameters</i>	<i>Вес факторов / Factors weight</i>						
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>AB</i>	<i>AC</i>	<i>BC</i>	<i>ABC</i>
Почвенный бонитет / Soil bonitet	-	-	5,9	-	7,0	-	13,1
Каменистость угодий / Stony land	8,2	5,0	-	-	8,3	-	9,6
Размер контура угодья / The size of the contour land	33,6	7,7	-	-	20,4	1,4	-
Содержание калия в почве / Soil potassium	19,0	4,0	4,0	9,9	-	-	-
Содержание фосфора в почве / Phosphorus content in soil	23,0	-	-	6,0	-	2,8	-
pH	6,9	-	-	-	-	-	11,6
Заболоченность угодий / Wetlands	16,5	3,6	3,5	7,5	-	-	-
Заболоченность пашни / Waterlogged arable land	26,4	4,8	2,9	-	-	-	-
Доля пашни в хозяйстве / Share of arable land on the farm	34,8	2,0	4,6	3,7	14,3	-	3,3
Доля сенокосов в хозяйстве / The proportion of hay on the farm	23,1	-	4,2	5,1	5,1	-	-
Доля пастбищ в хозяйстве / The share of pastures on the farm	11,3	-	7,7	-	-	-	-
Доля не с.-х. территорий в хозяйстве / Share of non-agricultural areas on the farm	28,6	2,0	4,1	5,2	11,3	-	-
Урожайность / The productivity:							
зерновых / of grain	13,7	-	-	-	-	-	-
льна / of flax	17,4	-	-	-	-	-	9,7
однолетних трав / of annual grasses	-	-	-	8,2	-	-	-
многолетних трав / of perennial grasses	9,5	-	7,2	-	7,9	-	-

Влияние факторов разных уровней ландшафтной среды на урожайность растений индивидуально для каждой культуры. Так, основная часть вариабельности урожайности картофеля объясняется различиями между видами агроландшафтов. Лишь 10-13% изменчивости урожайности многолетних трав и 11-14% зерновых объясняется действием макрофакторов. У льна этот показатель составляет 17-19%. Совокупность агроклиматически-неотектонических и гранулометрических свойств (АВС) агрогеосистем определяет около 8% вариабельности урожайности однолетних трав. Следовательно, процесс определения набора культур при разработке системы земледелия должен опираться на знания о вариабельности их урожайности, прежде всего в пределах типов и видов агроландшафтов, а по возможности и на более низких таксономических уровнях.

Параметры третьей группы в основном определяются уже на стадии анализа природных условий агроэкологических разделов. Такие показатели, как степень освоенности и распаханности агроландшафтов, средний размер контура угодий в их пределах весьма уверенно можно определить при анализе условий макросреды, однако и в этом случае необходим учет местных особенностей, которые могут внести существенные коррективы в каждом конкретном хозяйстве [17].

2. Результаты применения путевого анализа при разработке систем земледелия.

Весьма перспективным, на наш взгляд, методом определения факторов, влияющих на произрастание конкретной культуры, является анализ путевых коэффициентов. Разработанный S. Wright в 1932 г., он является эффектив-

ным способом определения причин и следствий в системе взаимосвязанных признаков. Суть его заключается в разложении корреляции зависимой переменной с каждой независимой переменной на прямой эффект одного признака и косвенные эффекты других, входящих в массив данных. Путевые коэффициенты могут быть положительными и отрицательными. Они, в отличие от коэффициентов корреляции, по модулю могут быть больше единицы [18].

Путевой анализ позволяет выделить факторы прямого действия, а сопоставление его результатов с данными корреляционного анализа дают возможность классифицировать их, выделяя «активные», действие которых описывается достоверными путевыми и корреляционными коэффициентами, и «потенциальные», прямое влияние которых затушевуется множеством других факторов.

Весьма простой анализ, заключающийся в подсчете количества активных и потенциальных факторов, влияющих на произрастание культур, в пределах каждого изученного типа агроландшафтов показал, что все исследуемые агрогеосистемы Верхневолжья по числу активных факторов можно разделить на две группы – геокомплексы с относительно гомогенной литогенной основой и ландшафты на двучленных отложениях. Последние, к которым принадлежат озерно-ледниковые песчано-глинистые равнины (6), песчано-суглинистые моренно-озерно-ледниковые равнины (7) и моренно-зандровые равнины (8), отличаются большим количеством активных факторов и, как правило, более широким диапазоном подвергающихся их воздействию культур (рис. 3).

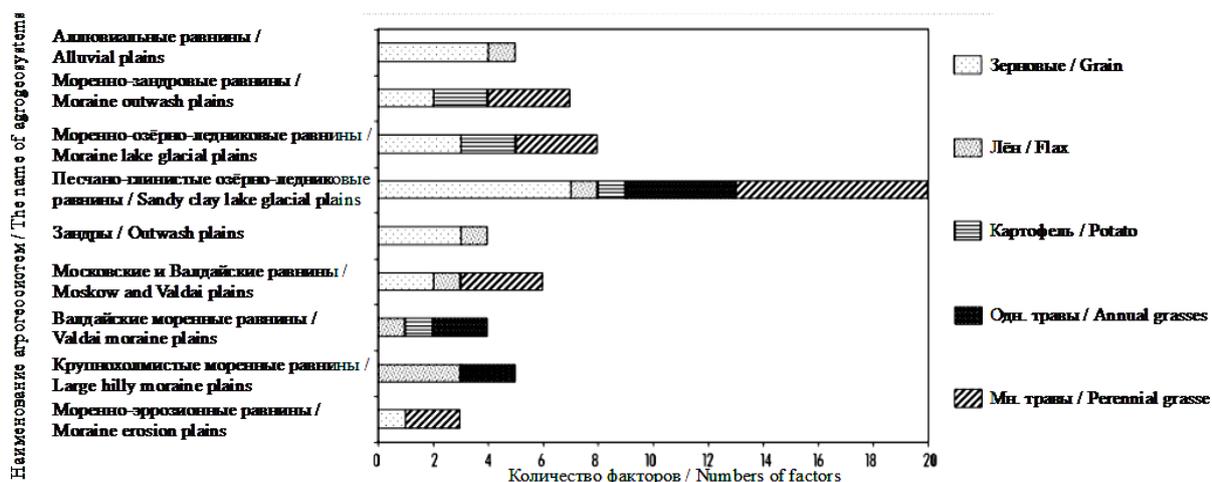


Рис. 3. Количество факторов, активно воздействующих на производственный процесс растений в различных агрогеосистемах /

Fig. 3. The number of factors actively influencing the production process of plants in various agroecosystems

Анализ факторов потенциального воздействия обнаруживает те же закономерности. При этом выясняется, что, во-первых, разница между группами в рамках потенциальных факторов еще контрастнее, во-вторых, все культуры плодосменного севооборота в ландшафтах второй группы подвергаются воздействию потенциальных факторов, в-третьих,

распределение факторов по культурам здесь более равномерное, чем в первой группе (рис. 4). Все это позволяет сделать вывод о том, что проектирование севооборотов в вышеописанных группах ландшафтов должно учитывать индивидуальный набор факторов, активно или потенциально воздействующих на производственный процесс.

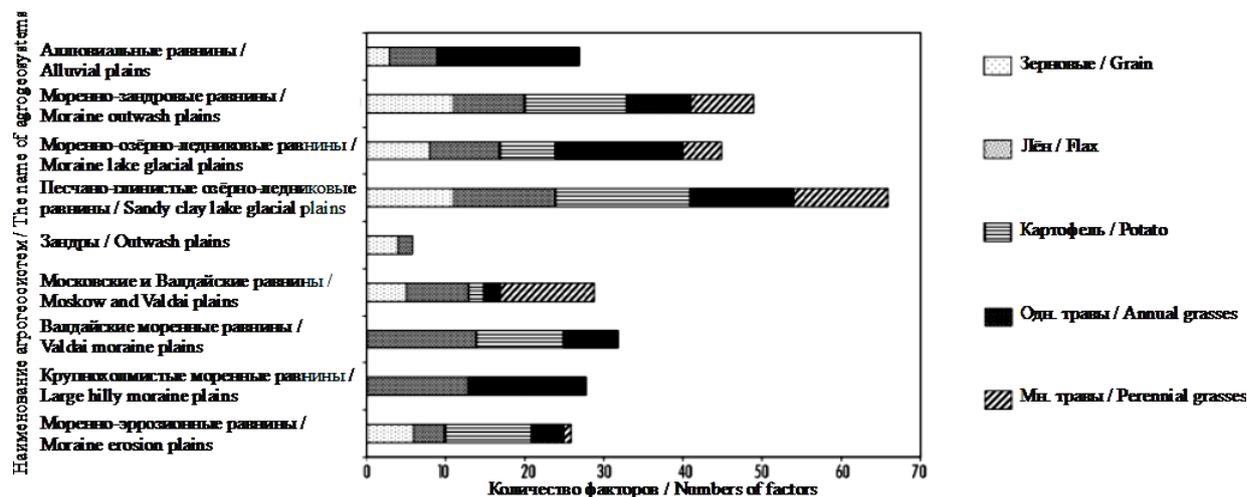


Рис. 4. Количество факторов, потенциально воздействующих на производственный процесс растений в различных агрогеосистемах /

Fig.4. The number of factors potentially influencing the production process of plants in various agroecosystems

Следует отметить, что сравнение условий произрастания культур плодосменного севооборота в различных геокомплексах Тверской области выявляет их достаточно четкую зависимость от генетических особенностей территории. В среднем для всех геокомплексов наибольшая вероятность активного воздействия на продуктивность культур проявляется у факторов организации угодий в пределах хозяйств, а также продуктивности агроландшафта (по 6,7%). Затем идут орографические (5,6%) и агроклиматические (4,9%) факторы, наименее значимы факторы плодородия почв (4,4%). Для геокомплексов, характеризующихся двучленностью почвообразующих пород, наиболее вероятно взаимодействие культур в севообороте (17%), затем идут агроклиматические факторы и особенности организации территории хозяйств (по 10%), наименее значимы орографические и агрохимические факторы (7%). В условиях моногенности почвообразующих пород на первое место по влиянию на производственный процесс выдвигаются факторы плодородия почв (13%), затем идут орографические факторы (10%), и наименьшее значение имеют агроклиматические и производственные параметры агрогеосистем (6%).

Исходя из этого, можно сказать, что производственный процесс в пределах агрогеосистем с достаточно однородной литогенной основой характеризуется относительной стабильностью, так как, прежде всего, зависит от мало изменяющихся во времени орографических и агрохимических параметров, тогда как в условиях господства двучленных отложений продуктивность культур зависит от менее устойчивых во времени обстоятельств.

Длительность стадии постледникового развития геокомплексов и степень гомогенности их литогенной основы оказывают влияние на характер и глубину антропогенной трансформации геосистем. Так, геокомплексы валдайского (вюрмского) возраста, вследствие малой гомогенизации рельефа и почвообразующих пород, практически не ощущают влияния особенностей структурной организации хозяйств на пространственную вариабельность параметров природной среды. Моренные ландшафты московского (миндельского) возраста, литогенная основа которых испытала заметное влияние денудационных процессов, характеризуются значительно более сильной отзывчивостью на антропогенную деятельность. Ландшафты с песчаной литогенной основой, формировав-

шиеся наиболее длительное время, отличаются еще более гомогенной литогенной основой и, как следствие, наибольшей чувствительностью к антропогенному воздействию.

3. Использование интегральных параметров при разработке мероприятий по выращиванию трав.

На современном этапе развития теории природообустройства и комплексной мелиорации агроландшафтов важное значение приобретают интегральные параметры оценки продуктивности местоположений [19], которые позволяют сравнивать по этому показателю агроландшафты различного генезиса. Широко известны работы [20, 21, 22], описывающие способы применения интегральных параметров для сравнения биопродуктивности различных типов почв. В нашей работе предпринята попытка применения вышеназванных методических приемов для оценки продуктивности различных типов агроландшафтов Тверской области, а также определения, на основе полученных результатов, наборов агромелиоративных мероприятий для оптимизации продукционного процесса в их пределах.

Следует различать потенциальную продуктивность типа агроландшафтов (ППТА) и реальную его продуктивность (РПТА). Под ППТА понимается количество биомассы, которое может образоваться только в идеальных условиях, когда приходные статьи энергетического баланса агроландшафта полностью идут на образование прямой и побочной продукции растениеводства. Под РПТА – биомасса основной и побочной продукции растениеводства, полученная в реальных условиях. Показатель соотношения РПТА и ППТА является оценкой степени использования ландшафта.

Потенциальная продуктивность агрогеосистем оценивается по следующим формулам [19]:

$$\text{ППТА} = S \cdot \text{CL} \text{ (для естественных ценозов),}$$

$$\text{ППТА} = S \cdot \text{ART} \cdot \text{GGR} \text{ (для агроценозов),} \quad (1)$$

где ППТА – потенциальная продуктивность биомассы растительности в данных почвенно-климатических условиях, т/га воздушно-сухого вещества; S – индекс почвы; CL – коэффициент благоприятности климата; ART – показатель соответствия климатических условий данной культуре; GGR – коэффициент, зависящий от особенностей производства.

Индекс почвы – интегральный показатель плодородия почвы вычисляется по зависимости [19]:

$$S = \frac{6,4(G_{ГК} + 0,2G_{ФК})}{600} + 8,5\sqrt{NPK} + 5,1e^{-[Hr-1]/4}, \quad (2)$$

где 6,4; 8,5 и 5,1 – весовые коэффициенты; $G_{ГК}$ и $G_{ФК}$ – содержание гуматного и фульватного гумуса соответственно, т/га; N, P, K – содержание в почве азота, фосфора и калия в почве в долях от их оптимального значения для данной культуры; Hr – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы.

Максимальное значение индекса почвы равно 20.

Коэффициент благоприятности климата – интегральный показатель, учитывающий тепло- и влагообеспеченность территории, определяется по формуле [19]:

$$CL = \sqrt{\left(\arctg \frac{Hf-113}{4} + 1,57\right) \cdot \left(\arctg \frac{T-6}{2} + 1,57\right)}, \quad (3)$$

где Hf – показатель эффективного увлажнения = $43,2lgO_c - T$; O_c – среднегодовое количество осадков, мм; T – среднегодовая температура, $^{\circ}C$.

Для агроценозов коэффициент CL применяться не может, так как каждая сельскохозяйственная культура имеет свой оптимальный диапазон гидротермических условий. Поэтому рассчитывают показатель соответствия агроклиматических условий данной культуры (ART), который вычисляется по формуле [19]:

$$\text{ART} = e^{-\left[\left(\frac{Hf-Hf_0}{DH}\right)^2 + \left(\frac{T-T_0}{DT}\right)^2\right]}, \quad (4)$$

где параметры Hf_0 , DH, T_0 , DT – определяются в зависимости от биологических особенностей рассматриваемой культуры, Hf_0 и T_0 – характеризуют оптимальное увлажнение и температуру, а DH и DT – диапазон соответствующих условий, приемлемых для данной культуры.

Особенности сельскохозяйственного производства учитывает коэффициент GGR, обычно изменяющийся в пределах от 0,5 до 1,45. Используя формулы 2 – 4, можно рассчитать, на основе учета условий вегетации многолетних трав, значения ППТА для агрогеосистем (табл. 4).

Максимальное значение CL (коэффициента благоприятности климата) наблюдается в пределах холмистых моренных равнин, расположенных на западе и северо-западе области. Этот тип агроландшафтов, наряду с болотными массивами, характеризуется также максимальными значениями S – индекса почвы. Потенциальная продуктивность естественных лугов составляет в пределах холмистых равнин 12,2 т/га воздушно-сухого вещества, а для осушенных болот – 11,44 т/га.

Таблица 4 – Параметры расчета ППТА для типов агроландшафтов в пределах Тверской области / Table 4 – PTA calculation parameters for types of agricultural landscapes within the Tver region

<i>ТА (№)</i>	<i>CL</i>	<i>S</i>	<i>ППТА, м/га / PTA, t/ha</i>	<i>РПТА, м/га / RTA, m/ha</i>	<i>ART</i>	<i>PotGGR</i>	<i>RealGGR</i>	<i>Потенциал мелиорации / The potential of land reclamation</i>	<i>Степень реализации ППТА, % / The degree of PTA implementation, %</i>
1	1,28	7,19	9,20	2,67	0,89	1,43	0,42	1,01	29,4
2	1,26	7,77	9,79	2,96	0,89	1,41	0,43	0,98	30,5
3	1,40	8,71	12,19	2,18	0,86	1,63	0,29	1,34	17,8
4	1,26	8,10	10,21	2,98	0,89	1,41	0,41	1,00	29,1
5	1,33	8,20	10,91	2,30	0,89	1,49	0,32	1,17	21,5
6	1,28	8,40	10,75	2,92	0,89	1,44	0,39	1,05	27,1
7	1,27	8,24	10,46	3,23	0,90	1,42	0,44	0,98	31,0
8	1,26	7,83	9,87	2,75	0,89	1,41	0,39	1,02	27,7
9	1,26	7,03	8,86	2,62	0,89	1,41	0,42	0,99	29,8
10	1,27	7,28	9,25	1,77	0,90	1,42	0,27	1,16	19,0
11	1,31	8,73	11,44	2,54	0,88	1,49	0,33	1,16	22,2

На основе анализа статистических материалов наиболее высокая реальная продуктивность многолетних трав отмечена в пределах моренно-озерно-ледниковых равнин (3,23 т/га), а наиболее низкая – на побережьях водоемов (1,77 т/га) и на холмистых моренных равнинах (2,18 т/га). Это отчасти объясняется низким значением ART (показателя соответствия агроклиматических условий данной культуре), который для холмистых равнин составляет 0,86. Противоречия между реальными и потенциальными данными в основном объясняются факторами, не учтенными при работе с формулами 2 – 4. Суммарно они включаются в множитель GGR, потенциальное значение которого может быть вычислено по формуле:

$$\text{PotGGR} = \frac{\text{ППТА}}{S \cdot \text{ART}}, \quad (5)$$

где PotGGR – потенциальное значение GGR; ППТА – потенциальная продуктивность конкретного типа агроландшафта; S – индекс почвы; ART – показатель соответствия агроклиматических условий данной культуре.

Реальное значение GGR может быть определено по формуле:

$$\text{RealGGR} = \frac{\text{РПТА}}{S \cdot \text{ART}}, \quad (6)$$

где RealGGR – реальное значение GGR; РПТА – реальная продуктивность конкретного типа агроландшафта; S – индекс почвы; ART – показатель соответствия агроклиматических условий данной культуре.

Разница между потенциальным и реальным значениями GGR определяет потенциал мелиорации агроландшафта, то есть коэффи-

циент максимально возможного увеличения его продуктивности при применении комплекса агротехнических и агромелиоративных мероприятий.

Доля RealGGR от значения PotGGR, выраженная в процентах, определяет степень реализации ППТА конкретной агрогеосистемы. Картограмма степени реализации ППТА в различных типах агроландшафтов Тверской области показана на рисунке 5. Данные этого рисунка и таблицы 4 показывают, что максимальная степень реализации ППТА наблюдается в пределах моренно-озерно-ледниковых (31,0%) и крупнохолмистых моренных равнин (30,5%), а минимальная в условиях холмистых моренных равнин (17,8%).

Сравнение различных типов агроландшафтов возможно только в единой системе факторных координат. Выявление факторов, влияющих на степень реализации ППТА, позволяет определить направления агромелиоративного воздействия на природные комплексы. В таблице 5 приведены результаты мультирегрессионного анализа влияния единого набора факторов природной среды агрогеосистем на степень реализации ППТА различных агрогеосистем.

Все факторы, влияющие на степень реализации ППТА, можно разделить на три группы: 1. Сильно влияющие, определяющие более 10% ее вариабельности. 2. Слабо влияющие, определяющие от 10 до 1% ее вариабельности. 3. Практически не влияющие, определяющие менее 1% ее вариабельности.

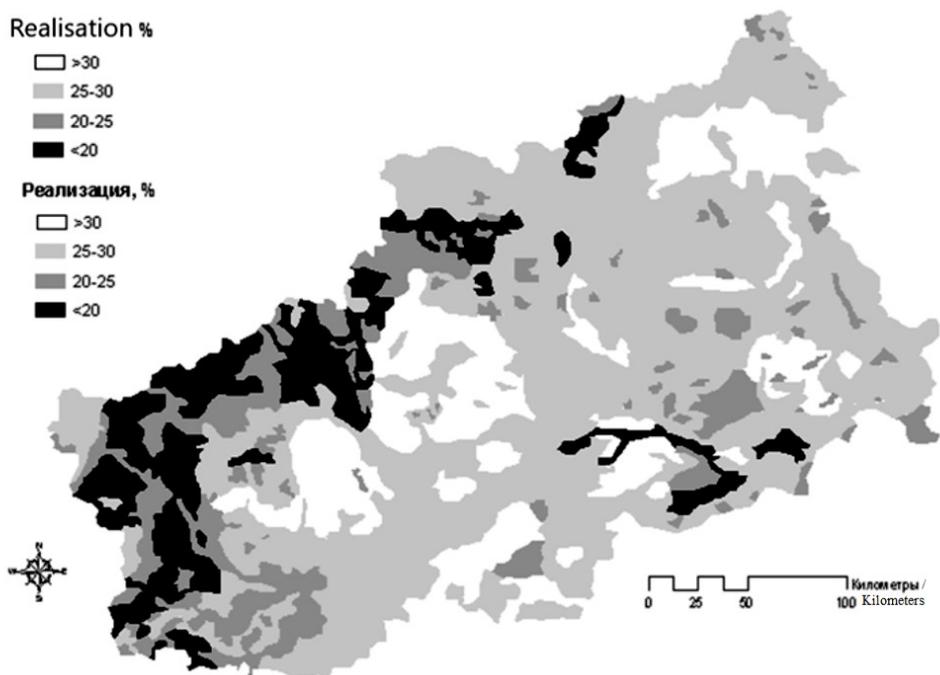


Рис. 5. Группировка ТА по степени реализации ППТА [16] /
Fig.5. Agricultural landscape grouping by the degree of PTA implementation

Таблица 5 – Факторы, влияющие на степень реализации ППТА в пределах Тверской области /
Table 5 – Factors affecting the degree of implementation of PTA in the Tver region

Факторы / Factors	Направленность влияния / Direction of influence	Доля вариабельности, % / The proportion of variability, %
Соотношение луга и пашни / Ratio of meadow and arable land	-	35,1
Запас продуктивной влаги / Productive moisture reserve	+	18,9
Содержание физической глины / Content of physical clay	+	9,6
Степень заболоченности угодий / Degree of wetlands	-	9,4
Доля сенокосов в агроландшафте / The share of grasslands in the agricultural landscape	-	6,7
Содержание фосфора в $A_{\text{пах}}$ / Phosphorus content in soils	+	5,6
Содержание калия в $A_{\text{пах}}$ / The potassium content in soils	-	4,7
Степень эродированности пашен / The degree of erosion of arable land	+	3,0
Доля лугов в агроландшафте / Share of meadows in the agricultural landscape	+	2,1
Доля пашни в агроландшафте / Share of arable land in the agricultural landscape	-	1,4
pH $A_{\text{пах}}$ / pH in soils	-	0,9
Доля залежей в агроландшафте / Share of deposits in the agricultural landscape	-	0,8
Высота местоположения / The height of the location	-	0,5
Степень закаменности угодий / The degree of fossil record	+	0,5
Размер контура угодий / Land contour size	-	0,4

Максимальное воздействие на степень реализации потенциала продуктивности агро-

ландшафтов оказывает соотношение в них луга и пашни. Его увеличение приводит к по-

нижению степени реализации, что свидетельствует о влиянии на нее степени биологизации севооборота. Этот вывод подтверждается и отрицательным влиянием роста доли сенокосов на степень реализации ППТА.

Увеличение запасов продуктивной влаги в почвах способствует росту степени реализации ППТА, так как улучшает водопотребление трав, однако отрицательное влияние на нее увеличения доли заболоченных угодий в агроландшафте и положительное степени эродированности пашен, определяющей самодренаж

территории, заставляет сделать вывод о необходимости двойного регулирования водно-воздушного режима почв [23, 24].

Регрессионный анализ позволяет выявить оптимальные и критические значения факторов, влияющих на степень реализации ППТА (табл. 6). Урожай многолетних трав выше среднего уровня получают в агроландшафтах с соотношением луга и пашни меньшим 0,84, что говорит о большой роли сеяных травостоев в процессе повышения РПТА.

Таблица 6 – Сопоставление оптимальных значений факторов, влияющих на степень реализации ППТА, с их реальными значениями для различных типов агроландшафтов Тверской области / Table 6 – Comparison of the optimal values of factors affecting the degree of implementation of PTA with their real values for different types of agricultural landscapes of Tver region

ТА (№)	Факторы первой и второй групп / Factors of the first and second groups									
	луг/пашня / meadow/arable land	продуктивная влага / productive moisture	физическая глина / physical clay	заболоченность / bogginess	сенокосы / hay-field	фосфор / phosphorus	калий / potassium	эродированность / erodibility	луга / meadows	пашня / arable
	Оптимальные значения факторов / The optimal values of the factors									
	<0,84	>222	>26	37-67	<8	<123	<100	>16	<20	>27
Реальные значения факторов / The real values of the factors										
1	0,44	234	25,9	38,0	5,4	94	94	22,1	15,6	38
2	0,53	230	25,0	42,7	6,3	112	92	23,2	14,2	30
3	1,00	210	21,6	29,2	8,7	129	106	21,9	15,6	17,3
4	0,65	222	25,2	43,2	5,9	117	103	19,1	17,3	28,9
5	0,96	207	20,5	45,2	8,0	128	99	21,5	16,7	21,4
6	0,82	224	22,8	47,0	8,6	133	99	12,7	19,0	27,6
7	0,55	228	24,3	45,3	5,4	115	99	15,3	17,1	33,9
8	0,56	219	26,9	34,4	7,2	119	103	21,2	15,5	28,9
9	0,50	224	22,3	69,8	7,6	84	77	11,1	18,6	40,4
10	0,90	223	24,8	99,9	9,9	121	102	12,8	20,9	27,5
11	0,67	212	22,0	70,7	5,0	83	69	0,0	14,0	21,0

Следовательно, биологизация севооборотов является мощным фактором повышения продуктивности агроландшафтов. Важным условием для получения высоких урожаев сена является наличие в метровом слое почвы запасов продуктивной влаги не менее 222 мм, физической глины не менее 26% и т. д. Такие показатели, как содержание фосфора и калия в почвах определяют негативное влияние на произрастание трав на плотных моренных суглинках (морена относительно богата этими элементами). Оптимальное значение доли эродированных угодий определяет степень самодренирования территории.

Сопоставляя оптимальные значения факторов, влияющих на степень реализации ППТА, с их реальными значениями, можно определить основную направленность агромелиоративных мероприятий в различных АГС. Анализ данных таблицы 7 показывает, что некоторые агрогеосистемы, такие как моренно-эрозийные равнины или крупнохолмистые моренные равнины нуждаются в незначительном антропогенном вмешательстве для оптимизации продукционного процесса трав, в то время как холмистые моренные равнины, болотные массивы и др. требуют комплексного многофакторного воздействия для повышения степени реализации ППТА.

Таблица 7 – Системы мероприятий в различных типах агроландшафтов Тверской области, направленные на повышение степени реализации ППТА для злакобобовых травостоев

<i>ТА (№)</i>	<i>Системы мероприятий</i>
1	Размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом.
2	Размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом.
3	Вовлечение в севооборот некоторого количества сенокосов, двойное регулирование водно-воздушного режима почв, размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом и глубоким залеганием морены.
4	Размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом и глубоким залеганием морены.
5	Вовлечение в севооборот некоторого количества сенокосов, двойное регулирование водно-воздушного режима почв, размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом и глубоким залеганием морены.
6	Вовлечение в севооборот некоторого количества сенокосов, осушение почв, размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом и глубоким залеганием морены.
7	Осушение почв, размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом.
8	Двойное регулирование водно-воздушного режима почв, размещение травостоев на почвах с глубоким залеганием морены.
9	Осушение почв, размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом.
10	Вовлечение в севооборот некоторого количества сенокосов, двойное регулирование водно-воздушного режима почв, размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом и глубоким залеганием морены.
11	Вовлечение в севооборот некоторого количества сенокосов, двойное регулирование водно-воздушного режима почв, размещение травостоев на почвах с тяжелым гранулометрическим составом.

Table 7 – Systems of measures in different types of agricultural landscapes of the Tver region, aimed at increasing the degree of implementation of PTA for leguminous herbage

<i>ТА (№)</i>	<i>Measure systems</i>
1	The location of the swards on soils of heavy granulometric composition.
2	The location of the swards on soils of heavy granulometric composition.
3	Involvement in crop rotation of a certain number of hayfields, double regulation of water-air regime of soils, placement of grass stands on soils with heavy granulometric composition and deep moraine.
4	The location of the swards on soils of heavy granulometric composition and the deep moraine.
5	Involvement in crop rotation of a certain number of hayfields, double regulation of water-air regime of soils, placement of grass stands on soils with heavy granulometric composition and deep moraine.
6	Involvement in crop rotation of a certain number of hayfields, soil drainage, placement of grass stands on soils with heavy granulometric composition and deep moraine occurrence.
7	The soil drainage, the location of the swards on soils of heavy granulometric composition.
8	Double regulation of water-air regime of soils, placement of grass stands on soils with deep moraine.
9	The soil drainage, the location of the swards on soils of heavy granulometric composition.
10	Involvement in crop rotation of a number of hayfields, double regulation of water-air regime of soils, placement of grass stands on soils with heavy granulometric composition and deep moraine.
11	Involvement in crop rotation of a number of hayfields, double regulation of water-air regime of soils, placement of grass stands on soils with heavy granulometric composition.

В таблице 7 приведены системы природоустроительных и мелиоративных мероприятий, направленных на повышение степени реализации ППТА для злакобобовых травостоев в различных типах агроландшафтов Верхневолжского бассейна. Все системы можно объединить в три группы: 1. Адаптивное размещение травостоев в зависимости от гранулометрического состава и геологическо-

го строения почв. 2. Адаптивное размещение травостоев и осушительно-оросительные мелиорации. 3. Адаптивное размещение травостоев, водные мелиорации и землеустроительные мероприятия (вовлечение в севооборот некоторого количества сенокосов). Схема зонирования территории области по группам мероприятий показана на рисунке 6.

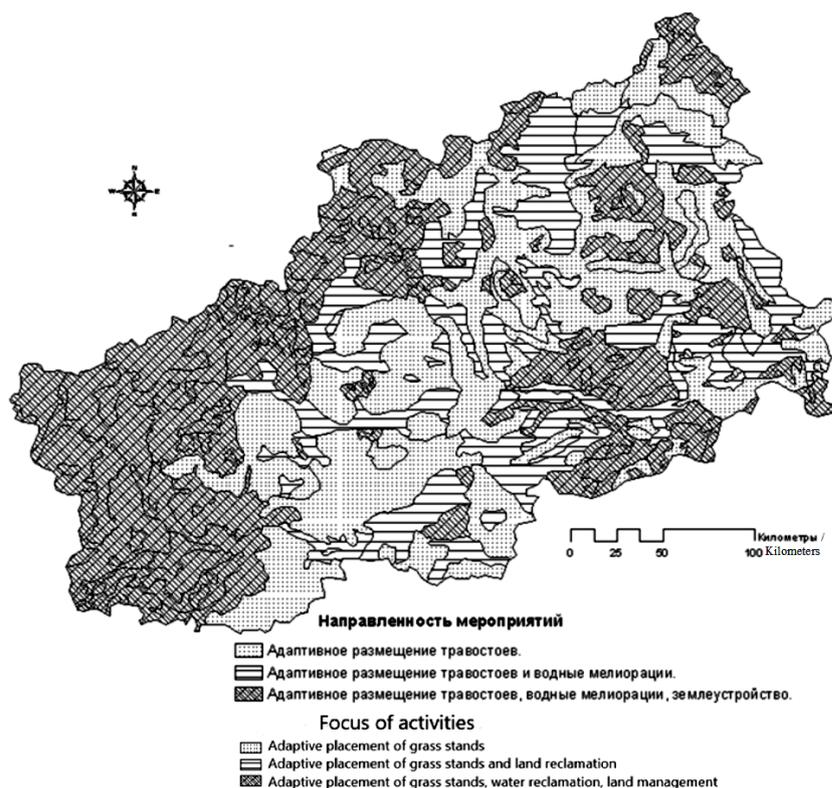


Рис. 6. Зонирование территории Тверской области по направленности мероприятий оптимизации продукционного процесса трав [16] /

Fig. 6. Zoning of the Tver region in the direction of measures to optimize the production process of herbs

Итак, методика оценки продуктивности типов агроландшафтов может быть основана на использовании интегральных показателей. На этапе становления методов проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия они могут успешно применяться не только в пределах типов почв, но и на уровне мелких иерархических единиц биосферы. В совокупности с геоинформационными системами и приемами математического моделирования они позволяют выявлять ареалы распространения мероприятий по оптимизации мелиоративного состояния геокомплексов.

Выводы: 1. Геостатистические методы являются важной составляющей процесса разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия. На их основе можно определить влияние условий природной среды геосистем различного уровня на характер землеустройства хозяйств, структуры их посевных площадей и севооборотов, а также на особенности агро-

технологических мероприятий выращивания конкретных культур. 2. Дисперсионный анализ позволяет определить «узловые» уровни типизации агрогеосистем, на основе характеристик которых возможна разработка конкретных мероприятий природно-рационального землепользования. 3. Путевой анализ предоставляет информацию о факторах, влияющих на произрастание определенных культур в различных геокомплексах одного типизационного уровня. Он позволяет обнаруживать генетические взаимосвязи между характером устройства оролитогенной основы геокомплекса и оптимальным набором культур в его пределах. 4. Определение значений интегральных показателей продуктивности агроландшафтов позволяет разработать наборы агротехнических и мелиоративных мероприятий достижения в их пределах максимально возможной продуктивности и выявить, на основе ГИС-технологий, ареалы их применения.

Список литературы

1. Иванов Д. А. Теоретические аспекты агрогеографии. Вестник Российской академии наук. 2018;88(9):804-810. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36376365>
2. Мильков Ф. Н. Человек и ландшафты. М.: Мысль, 1973. 224 с.
3. Николаев В. А. Концепция агроландшафта. Вестник МГУ. Серия география. 1987;(2):22-27.
4. Николаев В. А. Ландшафтоведение и земледелие. Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов. Тезисы ландшафтной конференции. М.-СПб., 1997. С. 24-28.

5. Прокаев В. И. Физико-географическое районирование. М.: Просвещение, 1983. 176 с.
6. Швец Г. И. Концепция парагенетических ландшафтов и природопользование. География и практика науки. М., 1988. С. 107-120.
7. Каштанов А. Н., Щербаков А. Т. Ландшафтное земледелие. Методические рекомендации по разработке ландшафтных систем земледелия в многоукладном сельском хозяйстве. Ч.2. Курск, 1993. 110 с.
8. Каштанов А. Н., Лисецкий Ф. Н., Швец Г. И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос, 1994. 127 с.
9. Кирюшин В. И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. Пушкино, 1993. 95 с.
10. Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
11. Щербаков А. П., Володин В. М., Михайлова Н. Ф. Ландшафтное земледелие и агробиоэнергетика. Земледелие. 1994;(2):6-7.
12. Савин И. Ю. Среднемасштабная инвентаризация почв с использованием технологий географических информационных систем. М.: Агостроф, 2012. 461 с.
13. Oliver M. A., Webster R. Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging, 2015. 100 p. URL: <https://www.twirpx.com/file/1702843/>
14. Pyrcz M. J., Deutsch C. V. Geostatistical Reservoir Modeling PDF- Oxford New York, 2014. VII. 433 p. ISBN 978-0-19-973144-2. URL: <https://www.twirpx.com/file/1421670/>
15. Преображенский В. С. Ландшафтные исследования. М.: Наука, 1966. 127 с.
16. Иванов Д. А., Ковалев Н. Г., Анциферова О. Н. Применение интегральных показателей продуктивности агрогеосистем для целей мелиорации. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014;(1(13)):1-16. Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=226&id=227>
17. Ковалев Н. Г., Смирнов А. А., Иванов Д. А., Корнеева Е. М., Зинковский В. Н., Салихов Р. А., Филиппова Т. Е., Петрова Л. И., Бакланов А. М., Кобзин А. Г., Юдкин Л. Ю., Болатбекова К. С., Цветкова М. А., Тихомирова Т. М. Теоретические основы создания адаптивных ландшафтно-мелиоративных систем земледелия и их типовые модели (проекты) для различных природно-экономических условий гумидной зоны. Кн.1. Тверь, 2000. 119 с.
18. Седловский А. И., Мартынов С. П., Мамонов Л. К. Генетико-статистические подходы к теории селекции самоопыляющихся культур. Алма-Ата: Наука, 1982. 198 с.
19. Пегов С. А., Хомяков П. М. Моделирование развития экологических систем. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 224 с.
20. Белова И. В., Кирейчева Л. В., Устинов М. Т. Прогноз продуктивности сельхозугодий Барабинской низменности с использованием ГИС-технологий. Мелиорация и Водное хозяйство. 2008;(1):28-30.
21. Кирейчева Л. В., Белова И. В., Хохлова О. Б. Методология прогнозирования продукционного потенциала и формирование устойчивого мелиорированного агроландшафта. Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования: сб. научн. тр. М.: РАСХН, 2006. С. 6-27.
22. Кирейчева Л. В., Белова И. В., Карпенко Н. П., Адыев С. П., Дедова Э. Б., Кониева Г. Н. Технологии управления продуктивностью мелиорируемых агроландшафтов различных регионов Российской Федерации. М., 2008. 82 с.
23. Зайдельман Ф. Р. Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. М.: Агропромиздат, 1991. 320 с.
24. Применение агро-мелиоративных мероприятий на осушенных минеральных землях Нечерноземной зоны РСФСР (технологический регламент). М.: Минсельхозпрод РСФСР, ВНИИМЗ, СевНИИГиМ, 1990. 58 с.

References

1. Ivanov D. A. *Teoreticheskie aspekty agrogeografii*. [Theoretical aspects of agrogeography]. *Vestnik rossiysskoy akademii nauk*. 2018;88(9):804-810. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36376365>
2. Mil'kov F. N. *Chelovek i landshafty*. [Man and landscapes]. Moscow: *Mysl'*, 1973. 224 p.
3. Nikolaev V. A. *Kontseptsiya agrolandshafta*. [The concept of agricultural landscape]. *Vestnik MGU. Seriya geografiya* = Moscow University Bulletin. Series 5, Geography. (In Russ.). 1987;(2):22-27.
4. Nikolaev V. A. *Landshaftovedenie i zemledelie. Struktura, funkcionirovanie, evolyutsiya prirodnykh i antropogennykh landshaftov*. [Landscape science and agriculture. Structure, functioning, evolution of natural and anthropogenic landscapes]. *Tezisy landshaftnoy konferentsii*. [Abstracts of the landscape conference]. Moscow–Saint-Petersburg, 1997. pp. 24-28.
5. Prokaev V. I. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie*. [Physical and geographical zoning]. Moscow: *Prosveshchenie*, 1983. 176 p.
6. Shvebs G. I. *Kontseptsiya parageneticheskikh landshaftov i prirodo-pol'zovanie. Geografiya i praktika nauki*. [The concept of paragenetic landscapes and nature management. Geography and practice of science]. Moscow, 1988. pp. 107-120.
7. Kashtanov A. N., Shcherbakov A. T. *Landshaftnoe zemledelie. Meto-dicheskie rekomendatsii po razrabotke landshaftnykh sistem zemledeliya v mnogoukladnom sel'skom khozyaystve*. [Landscape farming. Guidelines for the development of landscape farming systems in mixed farming]. Part 2. Kursk, 1993. 110 p.

8. Kashtanov A. N., Lisetskiy F. N., Shvebs G. I. *Osnovy landshaftno-ekologicheskogo zemledeliya*. [Basics of landscape-ecological farming]. Moscow: Kolos, 1994. 127 p.
9. Kiryushin V. I. *Kontseptsiya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya*. [The concept of adaptive landscape farming]. Pushchino, 1993. 95 p.
10. Kiryushin V. I. *Ekologicheskie osnovy zemledeliya*. [Ecological basis of agriculture]. Moscow: Kolos, 1996. 367 p.
11. Shcherbakov A. P., Volodin V. M., Mikhaylova N. F. *Landshaftnoe zemledelie i agrobioenergetika*. [Landscape Agriculture and Agro-Bioenergy]. *Zemledelie*. 1994;(2):6-7. (In Russ.).
12. Savin I. Yu. *Srednemasshtabnaya inventarizatsiya pochv s ispol'zovaniem tekhnologiy geograficheskikh informatsionnykh sistem*. [Medium-scale soil inventory using geographic information systems technologies]. Moscow: *Apostrof*, 2012. 461 p.
13. Oliver M. A., Webster R. *Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging*, 2015. 100 p. URL: <https://www.twirpx.com/file/1702843/>
14. Pyrcz M. J., Deutsch C. V. *Geostatistical Reservoir Modeling PDF*— Oxford New York, 2014. VII. 433 p. ISBN 978-0-19-973144-2. URL: <https://www.twirpx.com/file/1421670/>
15. Preobrazhenskiy V. S. *Landshaftnye issledovaniya*. [Landscape research]. Moscow: Nauka, 1966. 127 p.
16. Ivanov D. A., Kovalev N. G., Antsiferova O. N. *Primenenie inte-gral'nykh pokazateley produktivnosti agrogeosistem dlya tseley melioratsii*. [The use of integral indicators of productivity of agrogeosystems for land reclamation purposes]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii = Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*. 2014;(1(13)):1-16. (In Russ.). URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=226&id=227>
17. Kovalev N. G., Smirnov A. A., Ivanov D. A., Korneeva E. M., Zinkovskiy V. N., Salikhov R. A., Filippova T. E., Petrova L. I., Baklanov A. M., Kobzin A. G., Yudkin L. Yu., Bolatbekova K. S., Tsvetkova M. A., Tikhomirova T. M. *Teoreticheskie osnovy sozdaniya adaptivnykh landshaftno-meliorativnykh sistem zemledeliya i ikh tipovye modeli (proekty) dlya razlichnykh prirodno-ekonomicheskikh usloviy gumidnoy zony*. [The theoretical basis for the creation of adaptive landscape-meliorative farming systems and their standard models (projects) for various natural and economic conditions of the humid zone]. Kn.I, Tver', 2000. 119 p.
18. Sedlovskiy A. I., Martynov S. P., Mamonov L. K. *Genetiko-statisticheskie podkhody k teorii seleksii samoopylyayushchikhsya kul'tur*. [Genetic-statistical approaches to the theory of selection of self-pollinating cultures]. Alma-Ata: Nauka, 1982. 198 p.
19. Pegov S. A., Khomyakov P. M. *Modelirovanie razvitiya ekologicheskikh sistem*. [Modeling the development of ecological systems]. Leningrad: *Gidrometeoizdat*, 1991. 224 p.
20. Belova I. V., Kireycheva L. V., Ustinov M. T. *Prognoz produktivnosti sel'khozugodiy Barabinskoy nizmennosti s ispol'zovaniem GIS-tekhnologiy*. [Forecast of farmland productivity in the Barabinsk lowland using GIS technologies]. *Melioratsiya i Vodnoe khozyaystvo = Melioration and Water Management*. 2008;(1):28-30. (In Russ.).
21. Kireycheva L. V., Belova I. V., Khokhlova O. B. *Metodologiya prognozirovaniya produktsionnogo potentsiala i formirovanie ustoychivogo meliorirovannogo agrolandshafta*. [Methodology of forecasting production potential and the formation of a sustainable ameliorated agricultural landscape]. *Metody i tekhnologii kompleksnoy melioratsii i ekosistemnogo vodopol'zovaniya: sb. nauchn. tr.* [Methods and technologies of integrated land reclamation and ecosystem water use: collection of proceedings]. Moscow: *RASHN*, 2006. pp. 6-27.
22. Kireycheva L. V., Belova I. V., Karpenko N. P., Ad'yaev S. P., Dedova E. B., Konieva G. N. *Tekhnologii upravleniya produktivnost'yu melioriruemyykh agrolandshaftov razlichnykh regionov Rossiyskoy Federatsii*. [Technologies for managing the productivity of reclaimed agricultural landscapes in various regions of the Russian Federation]. Moscow, 2008. 82 p.
23. Zaydel'man F. R. *Ekologo-meliorativnoe pochvovedenie gumidnykh landshaftov*. [Ecological and reclamation soil science of humid landscapes]. Moscow: *Agropromizdat*, 1991. 320 p.
24. *Primenenie agromeliorativnykh meropriyatiy na osushennykh mineral'nykh zemlyakh Nechernozemnoy zony RSFSR (tekhnologicheskiiy reglament)*. [Application of land reclamation measures on the drained mineral lands of the Non-chernozem zone of the RSFSR (technological regulations)]. Moscow: *Minsel'khozprod RSFSR, VNIMZ, SevNIIGiM*, 1990. 58 p.

Сведения об авторе:

✉ **Иванов Дмитрий Анатольевич**, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, зав. отделом ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», п. Эммаусс, д. 27, Калининский район, Тверская область, Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8123-3257>, e-mail: volok123@gmail.com

Information about the author:

✉ **Dmitri A. Ivanov**, DSc in Agriculture, professor, corresponding member of RAS, Head of the Department, Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, Settlement Emmaus, 7, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8123-3257>, e-mail: volok123@gmail.com

✉ - Для контактов / Corresponding author