

6. Левкевич, В. Е. Гидро - морфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2018. – 143 с.
7. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич // Мелиорация. – 2016. – № 4(78). – С. 18–23.
8. Образовский, А. С. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / А. С. Образовский, Н. В. Ереснов, В. Н. Ереснов, М. А. Казанский; под ред. К. А. Михайлова, А. С. Образовского. – М. : Стройиздат, 1976. – 368 с.

Материал поступил в редакцию 18.02.2019

#### LEVKEVICH V. E. Surface water intake facilities in the reservoirs of Belarus

The field surveys of the country's reservoir fund conducted in recent years have made it possible to evaluate the experience of operating water intakes and the condition of their main structures.

This paper presents some results of studies of the state of various types of water intake facilities in operation, taking into account the attachment of banks and slopes, preventing the erosion of cohesive soils and movement of sediment to water intakes. Proposals for calculating water intakes are given.

УДК 631.57+631.6

Иванов Д. А.

## РАЗРАБОТКА ЛАНДШАФТНО-АДАПТИВНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ НА ОСНОВЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

**Введение.** 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 [2–6] и учеными-аграриями [7–11]. 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. В данной работе показаны результаты разнообразных геостатистических анализов пространственной изменчивости показателей урожайности культур и особенностей природно-производственной среды хозяйств в различных ландшафтах на территории Тверской области.

### Полученные 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).














Рисунок 1 – Агроэкологические разделы Верхневолжья

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. км<sup>2</sup>. 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, закаменность почв, мелкоконтурность угодий, значительная доля смывтой пашни, близкое залегание к поверхности моренных суглинков обусловило значительные запасы калия и фосфора в пахотных горизонтах.

Площадь Смоленско-Московского АР хвойно-широколиственных лесов равна 21,7 тыс. км<sup>2</sup>. Характер его климата отличается от

Иванов Дмитрий Анатольевич, д. с-х. н., профессор, член-корреспондент РАН, зав. отделом мониторинга состояния и использования осушаемых земель, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», e-mail : [volok123@gmail.com](mailto:volok123@gmail.com)  
Россия, ФГБНУ ВНИИМЗ, 170530, Тверская обл., Калининский р-он, п. Эммаусс, 27.

## Типы агроландшафтов (ТА)

-  Аллювиальные и зандрово-аллювиальные равнины
-  Болотные массивы
-  Долинные ландшафты и крупные водоемы
-  Крупнохолмистые моренные равнины
-  Моренно-зандровые равнины
-  Моренно-озерно-ледниковые равнины
-  Моренно-эрозионные равнины
-  Московские и Валдайские зандровые равнины
-  Московские и Валдайские моренные равнины
-  Озерно-ледниковые равнины
-  Холмистые моренные равнины

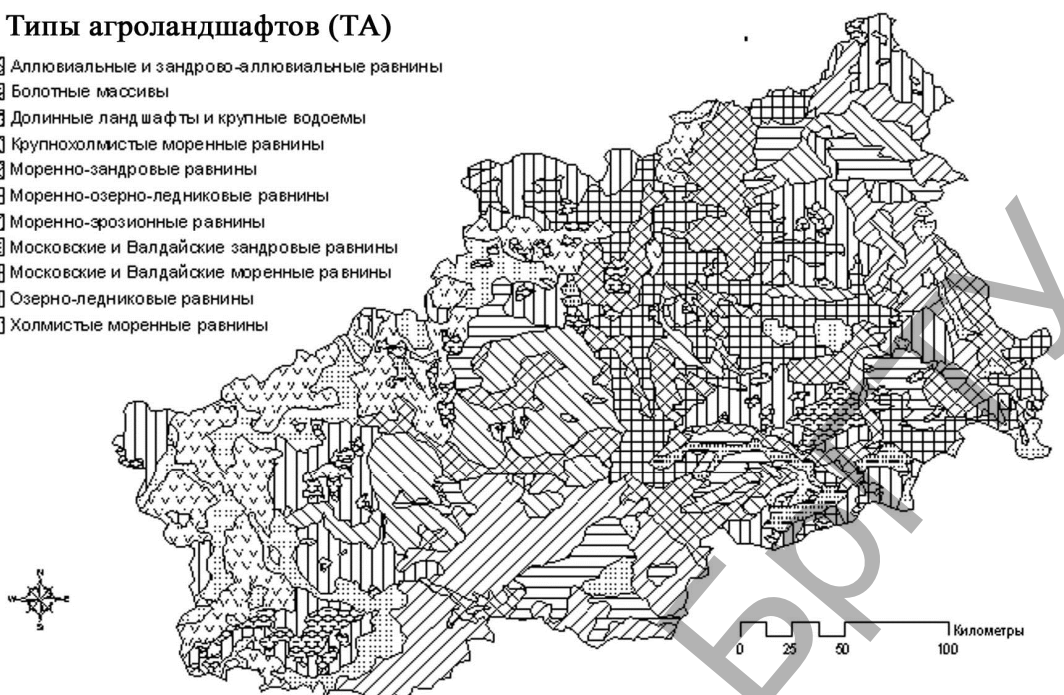


Рисунок 2 – Типы агроландшафтов Тверской области

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 закаменность 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 pH пахотного слоя и содержание в нем калия и фосфора заметно ниже.

Верхневолжский АР южной тайги занимает 12,8 тыс. км<sup>2</sup>. 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 высота хозяйств над уровнем моря составляет 156 м, варибельность высот около 22%. АР характеризуется малой закаменностью 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, площадь 23,0 тыс. км<sup>2</sup>, наблюдается максимальная, для Тверской области, континентальность климата. В основном он состоит из плоских морено-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 закаменностью 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 агроэкосистем, моноконтинентальными ареалами. Характерные черты их природной среды обусловлены гранулометрическим составом почвообразующих пород. Выделяют «песчаные» и «суглини-

стые» роды агроландшафтов [12]. Они объединяются во внетаксономические совокупности, называемые группами [13].

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 выделение 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) (рисунок 2).

Структура изучаемого иерархического комплекса представлена в табл. 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.

Агроэкосистемы, 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 варибельность изучаемых факторов позволило разделить их на три группы: 1 – параметры, менее 30 % варибельности которых определяется анализируемыми факторами; 2 – от 30 до 50 %; 3 – более 50 %.

В первую группу входят такие параметры, как: урожайности 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.

Таблица 1 – Характеристика природных условий основных типов агроландшафтов Тверской области [14, 15]

Название ТА и номер	Характеристика природных условий
1	2
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-мелколиственными 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, слабо-освоенные 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 Валдайские задровые 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-задровые равнины (8)	Разновысотные, замедленно дренируемые волнистые, с участками холмистого рельефа моренно-задровые 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 задрово-аллювиальные равнины (9)	Низменные, плоские песчано-суглинистые аллювиальные и пологоволнистые, часто с мелкохолмистым золотым рельефом задрово-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

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.

Влияние факторов разных уровней ландшафтной среды на продуктивность 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 [16].

**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 эффективным 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 [17].

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 затушевывается 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 – геоконплексы 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-задровые равнины (8), отличаются большим количеством активных факторов и, как правило, более широким диапазоном, подвергавшихся их воздействию культур (рис. 3).

**Таблица 2** – Схема трехфакторного дисперсионного анализа влияния особенностей природной среды агрогеосистем различных иерархических уровней на природные и производственные параметры хозяйств

Факторы 1-го порядка (специфика AP)	Факторы 2-го порядка (специфика родов агроландшафтов)	Факторы 3-го порядка (специфика типов агроландшафтов)	Количество повторностей (конкретных хозяйств)
Валдайский	Пески	6	12
		7	3
	Суглинки	8	6
Смоленско-Московский	Пески	4	6
		6	4
	Суглинки	7	7
		8	4
Верхневолжский южной тайги	Пески	4	7
		6	11
	Суглинки	7	8
		8	5
Верхневолжский смешанных лесов	Пески	4	4
		6	11
	Суглинки	7	6
		8	6
		4	14

**Таблица 3** – Оценка влияния природной среды агрогеосистем различных иерархических уровней на пространственную вариабельность агроэкологических параметров в пределах Тверской области

Параметры	Вес факторов						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
Почвенный бонитет			5,9		7,0		13,1
Каменность угодий	8,2	5,0			8,3		9,6
Размер контура угодья	33,6	7,7			20,4	1,4	
Содержание калия в почве	19,0	4,0	4,0	9,9			
Содержание фосфора в почве	23,0			6,0		2,8	
pH	6,9						11,6
Заболоченность угодий	16,5	3,6	3,5	7,5			
Заболоченность пашни	26,4	4,8	2,9				
Доля пашни в хозяйстве	34,8	2,0	4,6	3,7	14,3		3,3
Доля сенокосов в хозяйстве	23,1		4,2	5,1	5,1		
Доля пастбищ в хозяйстве	11,3		7,7				
Доля не с-х территорий в хозяйстве	28,6	2,0	4,1	5,2	11,3		
Продуктивность зерновых	13,7						
Продуктивность льна	17,4						9,7
Продуктивность однолетних трав				8,2			
Продуктивность многолетних трав	9,5		7,2		7,9		

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 продукционный процесс.

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 продукционный процесс выдвигаются факторы плодородия почв (13 %), затем идут орографические факторы (10 %), и наименьшее значение имеют агроклиматические и продукционные параметры агрогеосистем (6 %).

Исходя из этого, можно сказать, что продукционный 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, формировавшиеся 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 [18], которые позволяют сравнивать по этому показателю агроландшафты различного генезиса. Широко известны работы [19–21], описывающие способы применения интегральных параметров для сравнения биопродуктивности различных типов почв. В нашей работе предпринята

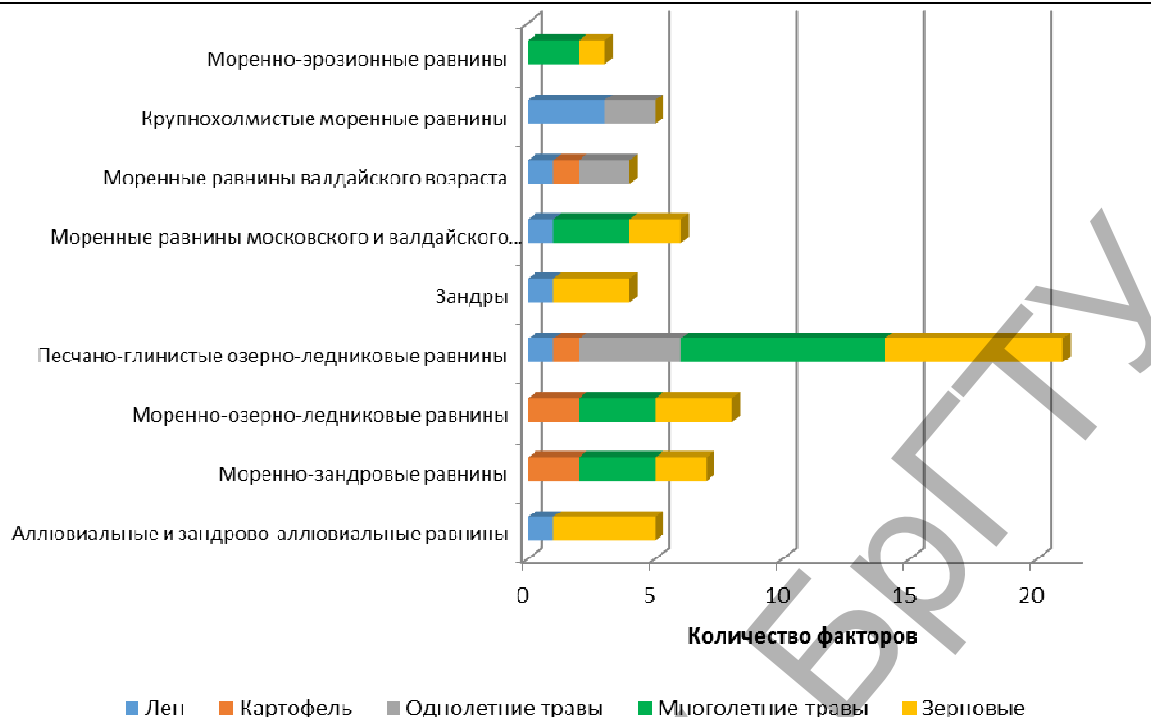


Рисунок 3 – Количество факторов, активно воздействующих на производственный процесс растений в различных агроэкосистемах

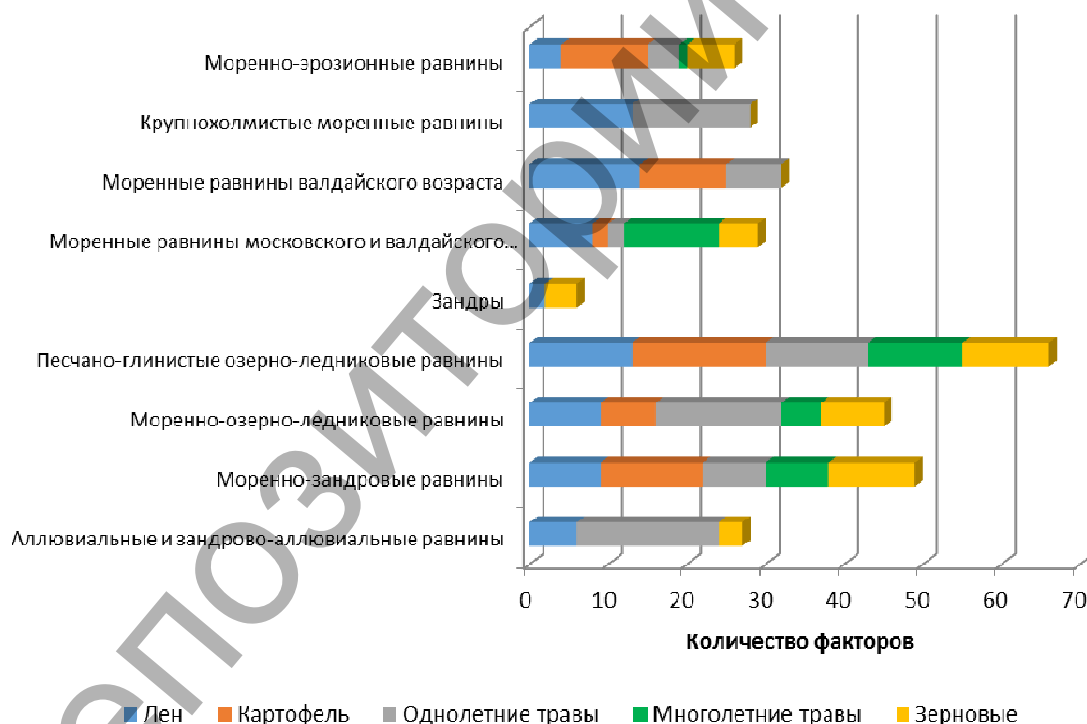


Рисунок 4 – Количество факторов, потенциально воздействующих на производственный процесс растений в различных агроэкосистемах

попытка применения вышеназванных методических приемов для оценки продуктивности различных типов агроландшафтов Тверской области, а также определения, на основе полученных результатов, наборов агромерелиоративных мероприятий для оптимизации производственного 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 агроэкосистем оценивается по следующим формулам [18]:

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

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

где ППТА – потенциальная продуктивность биомассы растительности в данных почвенно-климатических условиях, т/га воздушного сухого вещества;

S – индекс почвы;

Таблица 4 – Параметры расчета ППТА для типов агроландшафтов в пределах Тверской области

ТА (№)	CL	S	ППТА, т/га	РПТА, т/га	ART	PotGGR	RealGGR	Потенциал мелиора- ции	Степень ре- ализации ППТА, %
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

CL – коэффициент благоприятности климата;

ART – показатель соответствия климатических условий данной культуры;

GGR – коэффициент, зависящий от особенностей производства.

Индекс почвы – интегральный показатель плодородия почвы вычисляется по зависимости [18]:

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

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 [18]:

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

где  $Hf$  – показатель эффективного увлажнения =  $43,2gO_c - T$ ;

$O_c$  – 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 [18]:

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

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 (таблица 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.

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 культуры), 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:

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

где PotGGR – потенциальное значение GGR;

ППТА – потенциальная продуктивность конкретного типа агроландшафта;

S – индекс почвы;

ART – показатель соответствия агроклиматических условий данной культуры.

Реальное значение GGR может быть определено по формуле:

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

где RealGGR – реальное значение GGR;

РПТА – реальная продуктивность конкретного типа агроландшафта;

S – индекс почвы;

ART – показатель соответствия агроклиматических условий данной культуры.

Разница между потенциальным и реальным значением GGR определяет потенциал мелиорации агроландшафта, то есть коэффициент максимально возможного увеличения его продуктивности при применении комплекса агротехнических и агромиелоративных 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%).

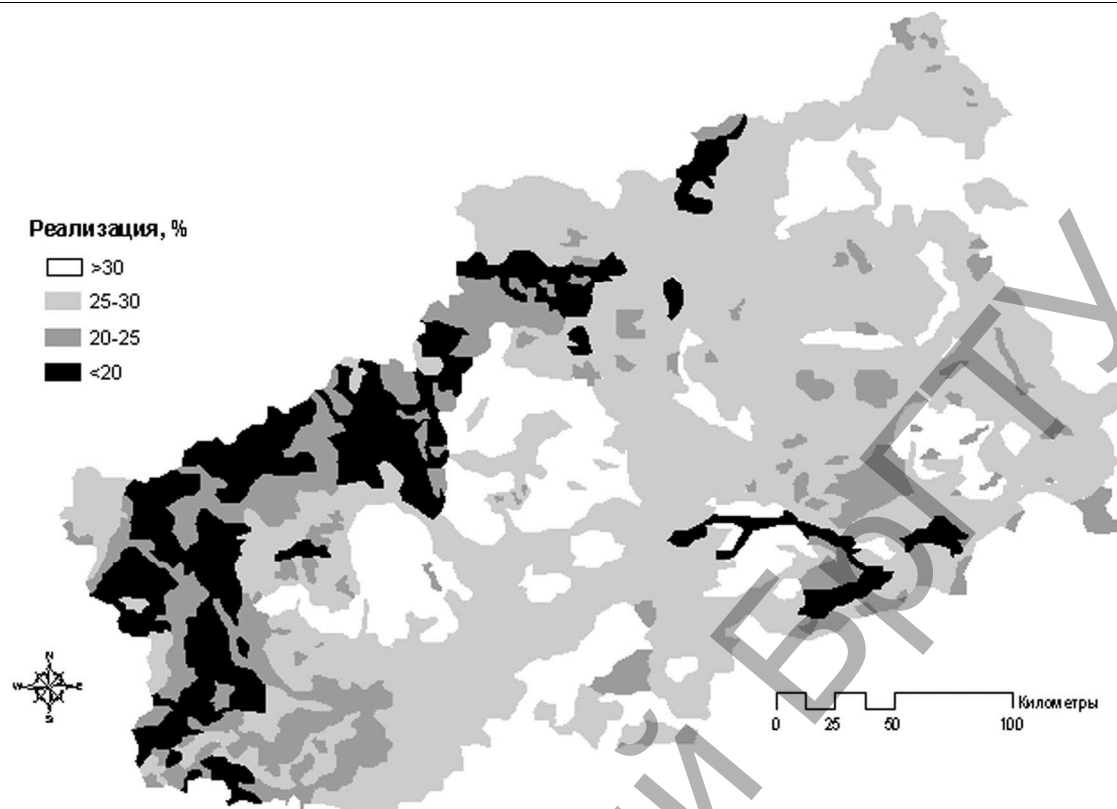


Рисунок 5 – Группировка ТА по степени реализации ППТА

Сравнение различных типов агроландшафтов возможно только в единой системе факторных координат. Выявление факторов, влияющих на степень реализации ППТА, позволяет определить направления агроландшафтного 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.

Таблица 5 – Факторы, влияющие на степень реализации ППТА в пределах Тверской области

Факторы	Направленность влияния	Доля вариабельности, %
Соотношение луга и пашни	-	35,1
Запас продуктивной влаги	+	18,9
Содержание физической глины	+	9,6
Степень заболоченности угодий	-	9,4
Доля сенокосов в агроландшафте	-	6,7
Содержание фосфора в Апах	+	5,6
Содержание калия в Апах	-	4,7
Степень эродированности пашен	+	3,0
Доля лугов в агроландшафте	+	2,1
Доля пашни в агроландшафте	-	1,4
pH Апах	-	0,9
Доля залежей в агроландшафте	-	0,8
Высота местоположения	-	0,5
Степень закаменности угодий	+	0,5
Размер контура угодий	-	0,4

Максимальное воздействие на степень реализации потенциала продуктивности агроландшафтов оказывает соотношение в них луга и пашни. Его увеличение приводит к понижению 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 [22, 23].

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

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 агроландшафтных мероприятий в различных АГС. Анализ таблицы 7 показывает, что некоторые агрогеосистемы, такие как моренно-эрозионные 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 6** – Сопоставление оптимальных значений факторов, влияющих на степень реализации ППТА с их реальными значениями для различных типов агроландшафтов Тверской области

ТА (№)	Факторы первой и второй групп									
	Луговая	Продуктивная влага	Физическая глина	Заболоченность	Сенокосы	Фосфор	Калий	Эродированность	Луга	Пашня
	Оптимальные значения факторов									
	<0,84	>222	>26	37-67	<8	<123	<100	>16	<20	>27
Реальные значения факторов										
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	1,0	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	0,5	224	22,3	69,8	7,6	84	77	11,1	18,6	40,4
10	0,9	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

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

ТА (№)	Системы мероприятий
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.

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 геологического 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.

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.

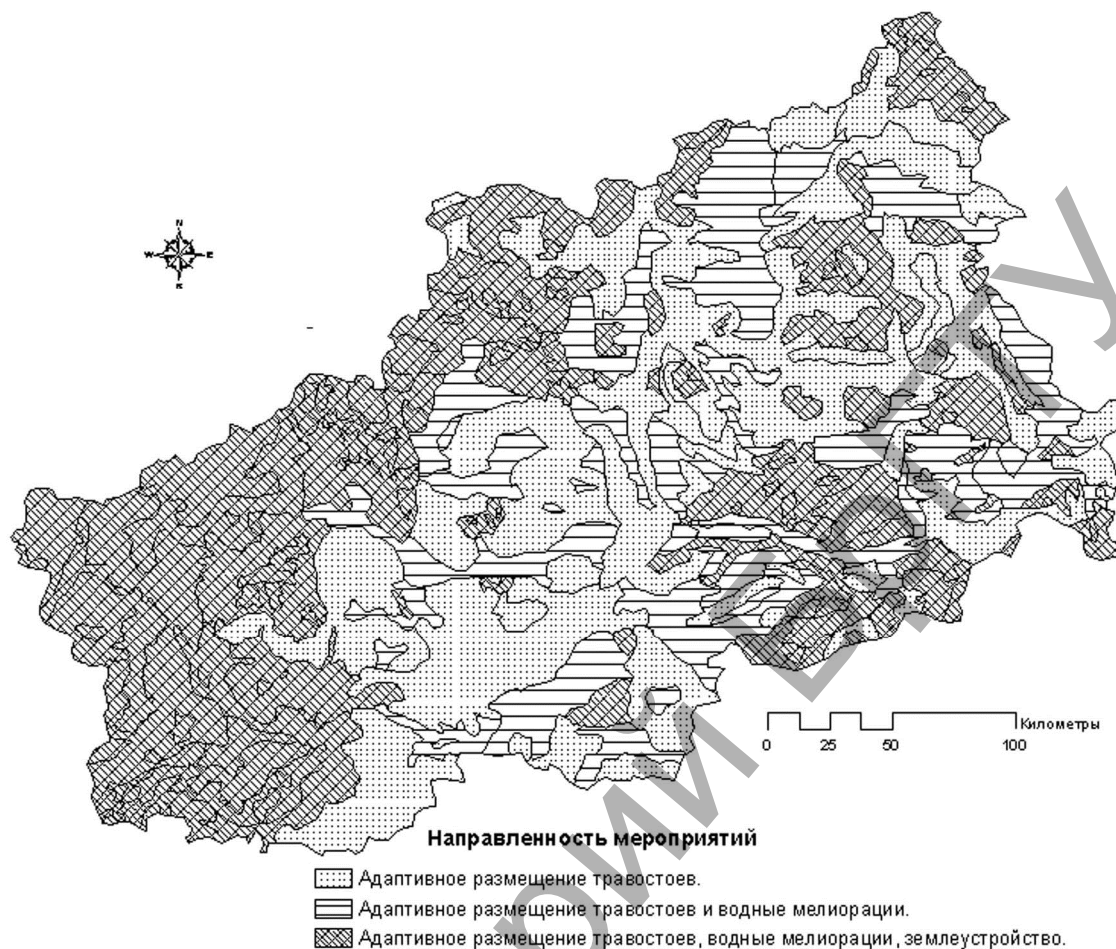
#### Заключение

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 агротехнологических мероприятий выращивания конкретных культур.

2. Дисперсионный анализ позволяет определить «узловые» уровни типизации агрогеосистем, на основе характеристик которых возможна разработка конкретных мероприятий природо-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.





**Рисунок 6** – Зонирование территории Тверской области по направленности мероприятий оптимизации продукционного процесса трав

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Иванов, Д. А. Агрогеография (теоретические и прикладные аспекты) : монография // LAP LAMBERT ACADEMIC PUBLISHING, Gmbh & Co.KG, Heinish-BockKing, 2012 – Str. Saar.
2. Мильков, Ф. Н. Человек и ландшафты. – М. : Мысль, 1973. – 224 с.
3. Николаев, В. А. Концепция агроландшафта // Вестник МГУ. – Сер. 5. – География. – № 2. – 1987. – С. 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. Швобс, Г. И. Концепция парагенетических ландшафтов и природопользование // География и практика науки. – М., 1988. – С. 107–120.
7. Каштанов, А. Н. Ландшафтное земледелие : методические рекомендации по разработке ландшафтных систем земледелия в многоукладном сельском хозяйстве / А. Н. Каштанов, А. Т. Щербаков. – Курск, 1993. – Часть 2. – 110 с.
8. Каштанов, А. Н. Основы ландшафтно-экологического земледелия / А. Н. Каштанов, Ф. Н. Лисецкий, Г. И. Швобс. – М. : Колос, 1994, 127 с.
9. Кирюшин, В. И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. – Пущино, 1993. – 95 с.
10. Кирюшин, В. И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
11. Щербаков, А. П. Ландшафтное земледелие и агробиознергетика / А. П. Щербаков, В. М. Володин [и др.] // Земледелие.– 1994. – № 2 – С. 8–12.
12. Ковалев, Н. Г. Агроландшафтоведение : учебное пособие / Н. Г. Ковалев, А. А. Ходырев, Д. А. Иванов, В. А. Тюлин // РАСХН, Минсельхоз, ТГСХА, ВНИИМЗ. – Тверь-Москва, 2004. – 490 с.
13. Преображенский, В. С. Ландшафтные исследования. – М. : Наука, 1966. – 127 с.
14. Атлас Калининской области. – М. : ГУГК, 1964. – 34 с.
15. Дорофеев, А. А. Легенда ландшафтной карты Тверской области / А. А. Дорофеев, С. А. Логинов. – М. : ГУГК, 1990.
16. Ковалев, Н. Г. Теоретические основы создания адаптивных ландшафтно-мелиоративных систем земледелия и их типовые модели (проекты) для различных природно-экономических условий гумидной зоны / Н.м.г. Ковалев, А. А. Смирнов, Д. А. Иванов [и др.]. – Тверь, 2000. – Кн. 1 – 119 с.
17. Седловский, А. И. Генетико-статистические подходы к теории селекции самоопыляющихся культур / А. И. Седловский, С. П. Мартынов, Л. К. Мамонов. – Алма-Ата: Наука, 1982. – 198 с.
18. Пегов, С. А. Моделирование развития экологических систем / С. А. Пегов, П. М. Хомяков. – Л. : Гидрометеоиздат, 1991. – 224 с.
19. Белова, И. В. Прогноз продуктивности сельхозугодий Барабинской низменности с использованием ГИС-технологий / И. В. Белова, Л. В. Кирейчева, М. Т. Устинов // Мелиорация и водное хозяйство. – № 1. – 2008. – С. 28–30.
20. Кирейчева, Л. В. Методология прогнозирования продукционного потенциала и формирование устойчивого мелиорированного агроландшафта / Л. В. Кирейчева, И. В. Белова, О. Б. Хохлова // Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования : сборник. – М., 2006. – 602 с.
21. Кирейчева, Л. В. Технологии управления продуктивностью мелиорируемых агроландшафтов различных регионов Российской

- Федерации / Л. В. Кирейчева, И. В. Белова, Н. П. Карпенко, С. Б. Адыяев, Э. Б. Дедова, Г. Н. Кониева. – М., 2008. – 82 с.
22. Зайдельман, Ф. Р. Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 320 с.
23. Применение агро-мелиоративных мероприятий на осушенных минеральных землях Нечерноземной зоны РСФСР (технологический регламент). Минсельхозпрод РСФСР, ВНИИМЗ, СевНИИ-ГиМ. – М., 1990. – 58 с.

Материал поступил в редакцию 04.02.2019

#### IVANOV D. A. Development of landscape-adaptive land use in the upper Volga region on the basis of geostatistical methods

The paper shows the examples of the application of geostatistical procedures in agro-ecological practices. The possibilities of dispersion and track analysis in determining the regularities of the formation of farming systems are revealed. The nature of the use of integrated indicators of productivity of agricultural landscapes for reclamation and protection of their natural environment.

УДК 556.5+574

Волчек А. А., Шпока И. Н., Шпока Д. А.

### ОЦЕНКА КОЛЕБАНИЙ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕКИ ЛЕСНАЯ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

**Введение.** Уровни воды являются важной характеристикой любого водотока, которые определяют не только его экологическое состояние, но и характер современного и перспективного использования. Кроме того, при использовании водотоков для потребительских нужд необходимо знать не только уровенный режим на текущий момент, но и важно иметь прогнозные оценки колебаний уровней на расчетную перспективу. Сложность анализа колебаний уровней воды в реках заключается в оценке влияния множества факторов, как естественных, так и антропогенных. Особое место занимают малые реки, так как чувствительны к тем или иным воздействиям. Кроме того, они составляют около 95 % всех рек региона. Исследовать влияние каждого фактора на уровенный режим не представляется возможным, поэтому в большинстве исследований положены статистические методы, которые используют гипотезу переноса статистических характеристик, полученных по наблюдаемым данным, на будущее. Это может служить обоснованием принятия инженерных решений при строительстве и (или) эксплуатации гидротехнических сооружений в реке или ее бассейна.

Современное потепление климата, начавшееся с 1988 года, оказывает влияние на уровенный режим рек, что требуют качественной и количественной оценки [1].

**Цель исследований.** Дать оценку уровенного режима р. Лесная в современных условиях и на краткосрочную перспективу.

**Исходные данные.** Основными исходными материалами при исследовании уровней воды реки Лесная (средние годовые, максимальные весеннего половодья, максимальные летне-осеннего паводка, минимальные летне-осенние, минимальные зимние уровни) послужили данные государственного водного кадастра ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за 1988–2014 гг. [2]. Выбор данного периода связан с тем, что с 1988 г. началось современное потепление климата на территории Беларуси.

Река Лесная типичная для юго-запада Беларуси, среднегодовой расход воды – 13,0 м<sup>3</sup>/с, средний уклон водной поверхности – 0,2 ‰. Средняя ширина реки – 25 м. Русло реки канализовано, песчаное, умеренно деформирующееся, зарастает водной растительностью [3].

Площадь водосбора в створе поста г. Каменец – 1920 км<sup>2</sup>, д. Тюхиничи – 2590 км<sup>2</sup>. Нуль поста графика уровня воды соответственно г. Каменец – 138,63 м, д. Тюхиничи – 128,69 м.

**Методика исследований.** Для исследований использовались статистические методы анализа: регрессионный, корреляционный, ряд Фурье [4–6].

Факторы, влияющие на формирование уровенного режима воды в реке, можно условно разделить на две группы. К первой группе

относятся глобальные факторы, которые касаются больших территорий, а ко второй – локальные факторы. Тогда уровень воды в реке можно представить как (4, 5, 6):

$$H(t) = H_{\phi}(t) \pm \Delta H_n(t), \quad (1)$$

где  $H(t)$  – уровень воды в реке в расчетном календарном году, см;

$H_{\phi}(t)$  – фоновая составляющая в формировании уровенного режима реки в том же году, см;  $\pm \Delta H_n(t)$  – вклад в формирование уровенного режима реки локальных факторов, см.

Изменения в хронологическом ходе уровней воды оценивались с помощью линейных трендов, определяются по формуле:

$$H_{\phi}(t) = H_{\phi}(0) \pm \Delta H \cdot t, \quad (2)$$

где  $H_{\phi}(t)$  – текущее значение уровня воды, см;

$H_{\phi}(0)$  – значение уровня воды в начальный момент времени, см;

$\Delta H$  – градиент изменения уровня воды, см/год;

$t$  – текущий момент времени, год.

Значимость коэффициента регрессии в уравнении (2) оценивается с помощью коэффициента линейной корреляции.

Для выявления цикличности в колебаниях уровней воды использовали нормированные разностно-интегральные кривые, которые определялись по формуле:

$$K_i = \frac{\sum(K_i - 1)}{C_v}, \quad (3)$$

где  $C_v$  – коэффициент вариации;

$K_i = H_i/H_{cp}$  – модульный коэффициент уровней воды.

Прогнозные оценки изменения уровней воды в реке осуществлялись с помощью рядов Фурье. Ряд Фурье — представление произвольной функции  $H_{\phi}(t)$ :

$$H_{\phi}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_n (a_n \cdot \cos(n \cdot t) + b_n \cdot \sin(n \cdot t)) \quad (4)$$

где  $a_0 = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} f(t) dx$ ;  $a_n = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cdot \cos(n \cdot t) dx$ ;

$b_n = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cdot \sin(n \cdot t) dx$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots$  – коэффициенты

ряда (коэффициенты Фурье).

Разность между фактическим уровнем воды и модельной фоновой составляющей определяются, в основном, колебаниями погодных условий и влиянием локальных факторов.

Шпока Ирина Николаевна, к. г. н., доцент кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии Брестского государственного технического университета, e-mail: shpoka@yandex.ru.

Шпока Дарья Александровна, аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, факультета инженерных систем и экологии Брестского государственного технического университета, e-mail: daria-a-sh@rambler.ru.

Республика Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.