

УДК 911.3:332.33:631.1:504.06(045)

*С.В. Васюков, В.В. Сироткин***ОРГАНИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОЙ ЕДИНИЦЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО УРОВНЯ С ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОЗИЦИЙ**

В работе предлагаются геоэкологические подходы к организации системы землеустройства земель сельскохозяйственного назначения на основе лимитирующих параметров агроценозов. В качестве основных лимитирующих параметров агроценозов научно обосновываются гидрофизические и энергетические параметры почв. На основе лимитирующих параметров определяются подходы к определению границ земельных участков сельскохозяйственного назначения, с целью минимизации углеродного следа получаемой сельскохозяйственной продукции. Обосновываются бесконтактные методы определения агрохимических и гидрофизических параметров почв с помощью полевых спектрометров и БПЛА.

Ключевые слова: геоэкология, почвы, землеустройство, агроценоз, гидрофизические параметры почв, основная гидрофизическая характеристика почв, агрохимические показатели, спектрометр, БПЛА.

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-2-166-177

На сегодняшний день на планете Земля произошел почти экспоненциальный рост численности населения. В первую очередь он коснулся развивающихся стран. При этом имеются определенные диспропорции в обеспечении населения мира базовым набором качественных продуктов питания. Несомненно, агрономическая наука внесла весомый вклад в решение данной проблемы человечества. Разработаны новые сорта сельскохозяйственных культур, имеющих повышенное плодородие, новые ядохимикаты и удобрения, новые автоматизированные технологические решения в области орошения и рекультивации земель. Более того, уже имеются технологические линии фактически беспочвенного выращивания сельскохозяйственных культур. Вроде бы человечество успешно справляется с данной проблемой. Но классическая технология выращивания сельскохозяйственных культур в естественных почвах никуда не делась, более того, по оценкам некоторых экспертов, сельскохозяйственные культуры, выращенные в естественной почве, обладают более насыщенным вкусом, сбалансированным минеральным и химическим составом. При этом по оценкам экспертов ФАО земельный фонд Земли, пригодный для выращивания сельскохозяйственных культур, практически исчерпан в части наращивания площадей, без существенной деградации экосистем, грозящей необратимыми последствиями. В связи с этим возникает серьезная проблема – использование имеющихся площадей сельскохозяйственного назначения с позиций устойчивого развития. При этом Россия в данном отношении занимает противоречивую позицию. С одной стороны, у нас имеются огромные массивы земель сельскохозяйственного назначения, которые фактически выпали из оборота после распада СССР и коллективных форм хозяйствования на селе, в основном в нечерноземной зоне, а с другой стороны, мы имеем интенсивное вовлечение и использование сельскохозяйственных земель в черноземной зоне. При этом российская сельхозпродукция является существенной статьей экспорта страны и пользуется за рубежом устойчивым спросом. Все это создает определенные тревожные предпосылки в части устойчивости сельскохозяйственных экосистем в долгосрочном периоде. Российская Федерация в определенной степени начинает сталкиваться с подобной ситуацией, при этом преодолевая ее исключительно техногенно, увеличивая внесение минеральных удобрений в почву, увеличивая применение ядохимикатов, внедрение ГМО модифицированных сортов сельскохозяйственных культур. Конечно, делаются попытки снизить данную техногенную нагрузку путем внедрения «точного (умного, цифрового) земледелия». Это в какой-то мере дает решение проблемы, но оно неполное, не учитывающее всего комплекса экологических условий в системе «растение-почва-воздух», и всего лишь оттягивает наступление деградационных последствий в почвах. Соответственно, *цель данного исследования* – это рассмотрение существующей организации использования земель сельскохозяйственного назначения в разрезе муниципальной территориальной единицы и концептуальные предложения по их использованию с геоэкологических позиций.

Материалы и методы исследования

Объект исследования: земельный фонд сельскохозяйственного назначения муниципальной территориальной единицы. **Предмет исследования:** разработка теоретических подходов к использованию земель сельскохозяйственного назначения с позиций устойчивого развития для территории муниципальной единицы.

В работе использовался фактический материал:

1. Данные государственного статистического наблюдения за 2011–2021 гг.: Форма № 22-1. Сведения о наличии и распределении земель по категориям и формам собственности и Форма № 22-2. Сведения о наличии и распределении земель по категориям и угодьям;
2. Цифровые топографические карты открытого опубликования масштаба 1:10 000 на территорию Чебоксарского муниципального округа в целом и 1: 2000 на территорию населенных пунктов Чебоксарского муниципального округа в векторном виде в формате MIF/MID, год состояния местности 2007;
3. Материалы полевых почвенных обследований колхозов и совхозов Чебоксарского района Чувашской Республики 1980–1988 гг.;
4. Градостроительная документация (генеральные планы поселений и правила землепользования и застройки поселений);
5. Публичная кадастровая карта Росреестра;
6. Лесохозяйственный регламент Чебоксарского лесничества;
7. Авторские материалы полевых почвенных обследований земель, полевых определений гидрофизических и почвенно-энергетических показателей (2000–2022 гг.) на территориях муниципальных образований различных субъектов РФ, расположенных в Европейской части России;
8. Мультиспектральные снимки и ортофотопланы БПЛА, полученные авторами для территории экспериментальных участков земель сельскохозяйственного назначения в Чувашской Республике.

Результаты и их обсуждение

Применительно к Российской Федерации в соответствии с действующим законодательством, деление земель производится по категориям и угодьям. Причем отнесение земель к той или иной категории осуществляется в соответствии с целевым назначением и правовым режимом, а угодья определяются по фактическому состоянию земель и их использованию. Под земельными угодьями понимается часть поверхности земли, обладающая определёнными естественноисторическими свойствами, позволяющими использовать ее для конкретных хозяйственных целей. Основное отличие категории земель от угодий, с точки зрения географического подхода, заключается в том, что категория земель является понятием правовым, собирательным и условным, а угодья имеют определённое географическое положение, границу и площадь. Но при этом в действующем земельном законодательстве никак не закрепляется географическое местоположение угодий и, соответственно, какие-либо пространственно-логические операции с ними с точки зрения управления земельным фондом территории невозможны. Помимо этих двух важнейших характеристик распределения земельного фонда имеются другие основные организационно-учетные единицы деления поверхности земли. Прежде всего, это земельные участки, административно-территориальные границы, территориальные зоны, зоны с особыми условиями использования территории (как правило, вокруг каких-либо объектов). При этом государственная организация управления земельным фондом с географических позиций происходит через государственный кадастровый учет данных территориальных единиц, посредством координат (в государственной или местной системе координат). Однако генезис определения этих координат различен для различных учетных единиц земельного фонда. Основная учетная характеристика земельного фонда – земельный участок, понимается в российском законодательстве как недвижимая вещь, которая представляет собой часть земной поверхности и имеет характеристики, позволяющие определить ее в качестве индивидуально определенной вещи. Каждый земельный участок должен относиться к определённой категории земель, и иметь вид разрешенного использования, который определяется при образовании земельного участка, либо выбирается собственником самостоятельно из тех видов разрешенного использования, которые допускаются в данном месте территориальной зоной или иным документом, определяющим данную процедуру. Соответственно, из такого многообразия управленческих единиц объектов земельного фонда собирается вся совокупность его картины в государственных управленческих

системах, прежде всего в Едином государственном реестре недвижимости (далее – ЕГРН), а применительно к землям сельскохозяйственного назначения, еще и в Единой федеральной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИСЗСН). При этом методология построения данных систем в значительной степени отличается. Если для ЕГРН основное содержание определяется правовой основой территориальных единиц, то для ЕФИСЗСН основное – это качественно-количественные характеристики географических единиц сельскохозяйственной обработки. При этом ситуация в обеих системах объективно усложняется отсутствием координатного описания границ для значительного количества земельных участков сельскохозяйственного назначения, в силу генезиса земельно-правовых отношений в Российской Федерации. Но даже в случае наличия координатного описания их границ в обеих информационных системах возникает самый серьезный вопрос управления территориальными единицами земельного фонда, применительно к землям сельскохозяйственного назначения. Упрощенно этот вопрос можно сформулировать примерно так: насколько правильно определены пространственные границы сельскохозяйственных земельных участков с точки зрения геоэкологического подхода? Применительно к сегодняшней ситуации в земельном фонде России ответ звучит так: границы земель сельскохозяйственного назначения возникли из проектов внутрихозяйственного землеустройства сельскохозяйственных предприятий (колхозов и совхозов). При этом методические основы для проведения внутрихозяйственного землеустройства были приняты еще в СССР¹ и предписывали при организации сельскохозяйственных угодий и севооборотов учитывать множество производственно-экономических и естественно-географических факторов, в том числе рельеф, степень эродированности почв, агротехнические условия возделывания сельскохозяйственных культур, мероприятия по защите почв от эрозии и т. д. Но ни в одном регламентирующем документе по организации севооборотов и угодий не рассматривается их формирование с позиций устойчивого функционирования агроэкосистемы.

При проведении земельной реформы для земель сельскохозяйственного назначения (приватизации сельскохозяйственных предприятий, выделение долевых земельных участков и участков постоянного бессрочного пользования) геоэкологические подходы, связанные с качеством данных земель, отсутствовали полностью, и вместо них в самом лучшем случае применялся бонитетный подход, в худшем – просто выделение на свободные земельные массивы. Поэтому в настоящее время мы имеем очень своеобразную картину географического распределения земель сельскохозяйственного назначения, которая очень далека от оптимального их использования с позиций устойчивого развития окружающей среды и минимизации углеродного следа в сельскохозяйственном производстве. Ситуация усугубляется еще и тем, что в условиях международных санкций против России значительно возросла антропогенная нагрузка на земли сельскохозяйственного назначения, соответственно, для России в ближайшее время встанет очень серьезный вопрос, связанный с истощением естественного плодородия сельскохозяйственных почв, который возникает перед всеми странами с интенсивным сельскохозяйственным производством и который уже возникал перед Россией во второй половине 19 века, ответом на который стало возникновение классического генетического почвоведения В.В. Докучаева [1].

Если объективно оценивать географические единицы управления земельного фонда сельскохозяйственных земель РФ, то можно увидеть одну общую закономерность их организации – основной характеристикой прежде всего земельных участков является процесс получения координатного описания границ этих земель. По сути, складывается следующая ситуация: сначала определяются координаты границ земельного участка, а потом уже приступают к его освоению и организации, в том числе и на принципах устойчивого развития. При такой организации земельного фонда встает несколько жестких противоречий: во-первых, поверхность Земли неоднородна в гипсометрическом, геологическом, гидрологическом и почвенном содержании, соответственно, условия для произрастания даже одного вида сельскохозяйственных растений будут неоднородны и серьезно лимитированы даже в пределах не очень большого земельного участка сельскохозяйственного назначения; во-вторых, чтобы получить относительно стабильный и высокий урожай в пределах неоднородного участка, необходимо проведение большого количества агрохимических и гидромелиоративных мероприятий, прежде всего, внесение удобрений и орошение; в-третьих, увеличиваются прямые и косвенные материальные издержки на ведение сельского хозяйства, соответственно, увеличивается углеродный след конечного

¹ Инструкция по внутрихозяйственному землеустройству колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных предприятий: Утв. М-вом сел. хоз-ва РСФСР 15.07.80. Ввод. 01.01.81. Москва: Б. и., 1981. 28 с.

сельскохозяйственного продукта. Таким образом, при существующем сейчас подходе мы приспосабливаемся под территориальные единицы земельного фонда, путем увеличения материальных издержек и труда, по сути, приводя агроэкосистему в нужное нам состояние, но при этом увеличивая дополнительную нагрузку на окружающую среду всевозможными способами, причем концепция углеродного следа это очень наглядно показывает. В настоящее время попытки снятия данных противоречий принимаются с помощью внедрения «умного» или «точного» земледелия, но при этом сами причины этих противоречий никуда не исчезают, только сглаживаются последствия в виде уменьшения антропогенной нагрузки на агроэкосистемы.

Принципиально иную картину управления территориальными единицами земельного фонда сельскохозяйственных земель мы сможем получить, если попробуем сформировать границы земельных участков на геоэкологических принципах устойчивого развития. При этом определение границ должно происходить не по контурам обработки земной поверхности, а по естественным границам экосистемы. В нашем случае это будет агроэкосистема, а в качестве данных границ необходимо брать пространственные границы распределения лимитирующих факторов развития агроэкосистем. Однако, при этом подходе имеется одно очень веское и существенное противоречие. Непонятна причина, по которой необходимо пересматривать границы участков по геоэкологическому принципу, когда имеются классические схемы внутрихозяйственного землеустройства, апробированные десятилетиями, в том числе и у нас в стране. Ответ на него находится в самой сути пространственной организации сельскохозяйственного производства. Внутрихозяйственные системы землеустройства, организованные по классическому принципу, применимы только для больших земельных участков либо для массива земельных участков, находящихся в собственности одного владельца. Реалии организации земельного фонда РФ с многообразием форм собственности и большим количеством собственников не позволяют повсеместно применять классическое внутрихозяйственное землеустройство. Кроме того, монополизация сельскохозяйственного производства априори не ведет к улучшению качества всего производственного цикла в отсутствие конкуренции. Не случайно вся сельскохозяйственная отрасль СССР подверглась реформированию, при, казалось бы, «безупречном» землеустройстве и была трансформирована в сторону многообразия форм собственности на земле и увеличению количества собственников, с целью повышения конкуренции в сельскохозяйственном производстве. Альтернативой многообразию и конкуренции могут являться административные рычаги прямого воздействия на землепользователей, но такая система управления землями сельскохозяйственного назначения становится негибкой и чрезвычайно ресурсоемкой.

В идеальном случае, если теоретизировать модель управления землями сельскохозяйственного назначения, на первый взгляд, самой оптимальной формой ведения сельского хозяйства должны быть крупные агрохолдинги на больших географических пространствах, при достаточно жестком административном контроле надзорных органов за лимитирующими параметрами агроэкосистем. К сожалению, в условиях современной России это невозможно, в силу административных, материальных и технологических причин.

О каких лимитирующих параметрах агроэкосистем мы ведем речь, когда рассуждаем о таком контроле. Для понимания данного вопроса нам необходимо обратиться к агрофизическим основам земледелия и рассмотреть основные группы биофизических факторов, лимитирующих развитие сельскохозяйственных растений в системе «почва-растение-воздух». Согласно экологическому закону лимитирующих факторов, даже единственный фактор за пределами границ оптимума приводит к стрессовому состоянию организма, либо если он действует на пределе – то к его гибели. Почти все зависимости интенсивности биологических процессов растений от воздействующих на них факторов имеют вид куполообразных функций (куполообразные кривые), которые в биологии называют биологическими кривыми. Такие кривые имеют характерные особенности: в диапазоне действующего фактора имеется зона максимума рассматриваемого биологического процесса, при увеличении или снижении его воздействия биологический процесс идет на убыль. Такой вид зависимостей в математике называется нормальным распределением или распределением Гаусса. Ширина «купола» указывает на биологическую устойчивость растений и характеризуется в биологии понятием толерантности, а значения параметров воздействующего физического фактора, отвечающих «куполу» этой функции, являются биологическим оптимумом растения. Причем этот оптимум может быть характерен как для одного биологического процесса, так и для всех условий жизни экосистемы в целом [2]. При этом, с точки зрения геоэкологического подхода к управлению сельскохозяйственными землями, целесообразно говорить об

агроценозе, под которым понимается система – «почвенный покров поля – агрофитоценоз – деятельный слой атмосферы» (в дальнейшем мы будем эту экосистему для упрощения называть «почва-растение-воздух»), как основной пространственной единице управления. Причем закономерности, действующие на уровне агроценоза, действуют как на более низшем элементарном уровне – почвенный разрез, растение и воздушная среда около него, так и на более высоком ландшафтном уровне – несколько агроценозов, имеющих общий характерный водосбор, чередование агрофитоценозов и мезоклиматических условий атмосферы.

Общая закономерность в управлении агроценозами должна отвечать требованиям, когда свойства подсистем «почва» и «воздух» являются подчиненными по отношению к требованиям, необходимым для существования подсистемы «растение», которая является главной. Целью управления агроценозом является создание оптимальных условий развития растений. Для простоты учета интегральной результирующей характеристики оптимальности функционирования агроценоза принимается характеристика, называемая плодородием. Под плодородием в дальнейшем будет пониматься ценностный показатель агроэкосистемы в целом, зависящий от содержания минеральных и органических элементов, количества доступной растениям влаги, состава приземного и почвенного воздуха, пределов годовых колебаний температур и их распределения за время вегетации, количества и качества поступающей лучистой энергии и т. д., а также вида и сорта растений [3]. При этом не следует путать с плодородием сельскохозяйственных земель ряд общепринятых в настоящее время агрохимических показателей, которые указываются в государственных системах сбора статистической информации (ЕФИС ЗСН): содержание гумуса, обменного калия, подвижного фосфора, рН.

Имеется множество примеров в экосистемах, когда при полном отсутствии традиционного в нашем понимании плодородия почв (гумус, азот, фосфор, калий) наблюдается мощное произрастание растений в определенные сезоны года. Как пример такого явления, можно привести зону Сахеля с красными ферраллитными почвами. Соответственно, плодородие определяется не только питательными веществами почвы, хотя и они имеют определенное значение. Основными факторами, определяющими плодородие, является солнечная энергия (необходима для фотосинтеза), прогретая почва с достаточным количеством внутрипочвенного воздуха (для дыхания корней и их роста) и вода. Поэтому главными факторами, определяющими плодородие, являются незаменимые физические факторы, недостаток которых можно немного скомпенсировать внесением в почву удобрений и интенсивной технологией. Если в агроценозе много солнечного тепла, почвенного воздуха и, самое главное, воды, то плодородие его будет высоким. Соответственно, если мы говорим об устойчивом управлении землями сельскохозяйственного назначения с позиции интегрального фактора – плодородия, то нам необходимо разобрать свойства подсистем агроценозов, которые влияют на это плодородие, более подробно, чтобы понимать, каким образом возможно управление ими.

Подсистема «воздух» возможна к регулированию на сравнительно малых площадях посевов в закрытом грунте – теплицах, оранжереях, парниках. В открытом грунте регулирование параметров подсистемы «воздух» связано с временным изменением климата, которое может быть осуществлено на небольших территориях и связано с огромными энергетическими и трудовыми затратами – рассеивание облаков и искусственное осадкообразование с помощью распыления в атмосфере химических реагентов, борьба с заморозками постановкой дымовых завес над посевами, либо оно является неконтролируемым и неизбирательным на достаточно больших территориях – подрыв термоядерного заряда или воздействия на океанические течения [4].

Свойства подсистемы «почва» являются основным объектом регулирования условий для оптимального развития растений. При этом свойства этой подсистемы многокомпонентные и разноплановые.

Содержание минеральных элементов в почве зависит от горных пород, из которых образовалась почва, а также от условий ее образования. При этом длительность процессов естественного почвообразования очень велика относительно периода вегетации растений, соответственно, естественный минералогический состав можно принять величиной неизменной.

Растения способны потреблять питательные вещества только в растворенном состоянии. Почвенный раствор образуется при растворении почвообразующих минералов и вносимых химических добавок – органических и неорганических. Содержание растворимых химических компонентов почвенного раствора можно регулировать в широких пределах, подбирая их состав и количественное соотношение оптимальными для развития растений конкретной культуры, соответственно, этот фактор не будет являться

лимитирующим. В связи с тем, что все химические реакции, протекающие в почве, происходят на поверхности почвенных частиц, важную роль играет ионообменная емкость почвы, напрямую зависящая от физического параметра – удельной поверхности почвы.

Количество доступной растениям влаги зависит от ее содержания в почве и энергетического состояния влаги. При этом методы определения общей влажности почвы хорошо разработаны. Однако методы определения дифференциации общей влажности по энергетическим состояниям, т. е. доступности растениям, разработаны слабо. Наиболее разработан термодинамический метод, основанный на измерении энергии связи влаги в почве, основанный на том, что растения за счет внутриклеточного содержания растворенных веществ и транспирации создают осмотическое давление, определяющее интенсивность потока влаги из почвы в растение, в то время как почва капиллярными, сорбционными силами стремится эту влагу удержать. В случае, если удерживающие влагу в почве силы (которые могут измеряться через давление) лежат в пределах интервала значений осмотического давления, которое может создать растение, то оно существует как организм. Пределы изменения осмотического давления культурных растений зависят от их вида и лежат в довольно узком интервале от 0,1 атм. – для самых влаголюбивых, до 30 атм. – для самых засухоустойчивых. При этом «сосущая сила» почвы может достигать 3000 атм. Таким образом, потенциал почвенной влаги – энергия связи влаги в почве, отнесенная к единице массы влаги – будет являться важнейшим лимитирующим фактором в системе «почва-растение-воздух», по силе своего влияния которого ее можно сравнить с таким фактором, как температура. Более того, самые оптимальные условия для развития культурных растений находятся в более узком интервале значений потенциала почвенной влаги от 0,1 до 1. Для конкретного типа почвы и растения конкретной культуры «комфортные» условия реализуются путем поддержания общей влажности в пределах, соответствующих оптимальным значениям потенциала почвенной влаги. Это связано со способностью почвы транспортировать влагу к корням растений в количествах, достаточных для покрытия ее расходов на транспирацию. Соответственно, транспортная способность почвы по отношению к влаге определяется фильтрационными характеристиками почвы и в первую очередь коэффициентом фильтрации, который является важным динамическим лимитирующим фактором развития растений» [5–8].

«Для нормального развития растений, их корни должны иметь возможность поглощать кислород из почвы, необходимый для генерирования энергии, затрачиваемой на рост и поглощение биогенных элементов. У большинства растений отсутствует способность транспортировать газы между своими органами, следовательно, подземная часть растения должна обеспечиваться кислородом посредством диффузии из почвенного воздуха, что требует наличия свободного от влаги порового пространства, через которое атмосферный воздух будет достигать корней. Доступность воздуха корням растений тоже выступает как лимитирующий фактор, но этот показатель динамический и зависит от уплотнения почвы либо заполняемости порового пространства влагой.

К важным лимитирующим факторам относят также соленость и кислотность почвы. Соленость почвы усиливает «сосущую силу» почвы, что создает трудности для поступления влаги в растение. Кислотность влияет на биологические процессы растений, которые нормально протекают для большинства растений при $pH=7$.

Влияние температурного фактора проявляется в первую очередь в подсистеме «растение». Пределы допустимого колебания температур различны для конкретных культур и могут регулироваться в условиях закрытого грунта. Для открытого грунта, где колебания температур зависят от климата, влияние температурного фактора в подсистеме «почва» проявляется в различии почв по теплопроводности. Регулирование теплопроводности в этом случае можно осуществлять либо уплотнением – повышение теплопроводности, либо внесением в почву измельченных материалов с низкой теплопроводностью (торф, опилки и т.п.) – понижение теплопроводности («теплые» почвы). Эти операции вызывают изменение скорости тепловых процессов, но не влияют на общий тепловой баланс, который зависит от количества и качества приходящей лучистой энергии и тепловой энергии, выделяющейся в результате окисления органической компоненты почвы. Регулирование теплового баланса осуществляется также мульчированием поверхности почвы или внесением в нее органических веществ. Изменение влажности почвы ведет к изменению ее тепловых свойств: теплоемкости, тепло- и теплопроводности. Колебания же температуры изменяют характеристики почвенного раствора: коэффициент поверхностного натяжения и коэффициент вязкости. Следует отметить, что в реальных условиях изменения гидрофизических характеристик при колебаниях температуры значительно слабее, чем тепловых при изменении влажности. Реакция растений на колебания температуры в данном микроклимате определяется конкретным ландшафтом и термопериодизмом сезонным и суточным.

Все свойства почвы зависят от ее механического состава, который и определяет ее разновидность. В нашей стране наиболее распространена классификация почв по Н.А. Качинскому, в то время как в других странах тип почвы определяют по треугольнику мехсостава – «треугольнику Ферре» – на основе международной классификации, предложенной Аттербергом. Зависимость между механическим составом почвы и некоторыми ее характеристиками представлена в таблице. Из таблицы следует, что только ионообменная емкость связана с химическим составом почвенных частиц, остальные же связаны с физическими и гидрофизическими параметрами почвы, как дисперсной системы. При этом водоудерживающая способность и обрабатываемость почвы связаны с энергетическим состоянием влаги в почве, а инфильтрация и аэрация характеризуют способность почвы пропускать сквозь себя поток сплошной среды – почвенного раствора или почвенного воздуха» [8].

Зависимость между механическим составом и физико-химическими характеристиками для нейтральных, незасоленных почв

Механический состав почв	Водоудерживающая способность	Инфильтрация воды	Ионообменная емкость	Аэрация	Обрабатываемость
Песок	Низкая	Хорошая	Низкая	Хорошая	Хорошая
Суглинок	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
Глина	Высокая	Слабая	Высокая	Плохая	Плохая

Таким образом, исходя из обзора основных факторов системы «почва – растение – воздух», критически влияющих на развитие сельскохозяйственных растений, можно сделать вывод, что основными лимитирующими факторами, практически не поддающимся регулированию, влияющими на благоприятное развитие растений, являются механические и гидрофизические параметры почвы. На наш взгляд, самой информативной характеристикой, определяющей энергетическое состояние влаги в сельскохозяйственных почвах, является основная гидрофизическая характеристика почвы (ОГХ). ОГХ – это эмпирическая зависимость между термодинамическим потенциалом почвенной влаги и влажностью почвы. Характер кривой ОГХ для конкретного почвенного образца прямо зависит от удельной объемной поверхности и пористости почвы [9].

Основная гидрофизическая характеристика почв (ОГХ), позволяющая дифференцировать обрабатываемые почвы сельскохозяйственных земель по доступности влаги растениям с энергетической точки зрения, по сути, является выражением потенциала почвенной влаги при разных значениях влажности почв. Применение современных средств электронного картографирования и моделирования (ГИС-технологий) посредством построения компьютерных карт в изолиниях значений потенциала почвенной влаги дает объективную информацию о распределении доступности почвенной влаги на обследованной территории в текущий момент времени и является основой для проектирования и планирования сроков обработки почвы и, самое главное, оптимальных сроков посева той или иной сельскохозяйственной культуры. Кривая ОГХ является уникальной для каждой конкретной почвы и меняется достаточно медленно, и только в случае изменения почвообразующих факторов либо антропогенного воздействия на агроэкосистемы. Так как почвенная влага, а точнее, ее доступность является одним из важнейших лимитирующих факторов развития наземных растений, который практически неизменен для конкретной почвы, особо важно знать его значения в текущий момент времени и его лимитирующие значения для конкретных сельскохозяйственных культур. Данные лимитирующие значения в настоящий момент времени известны для многих растений, они в основном получены опытным путем. Текущие определения значений потенциала почвенной влаги получаются на основе данных полевого пробоотбора и анализа образцов почвы в ненарушенном сложении, и построены на основе полученных данных кривых ОГХ. При превышении значений влажности почв, соответствующих этим параметрам, необходимо активное мелиоративное воздействие на агроэкосистемы, с целью недопущения гибели сельскохозяйственных растений, либо посадки заранее определенного вида растений, для которого доступность почвенной влаги в данном земельном участке будет в зоне «оптимума». В случае же использования данных параметров для проведения оросительных мероприятий возможно добиться значительной экономии водных ресурсов, что в условиях черноземной зоны, которая является зоной неустойчивого увлажнения, при все более заметных изменениях климата [10] в перспективе будет очень востребованным.

Пространственное определение гидрофизических и энергетических параметров почвенного покрова сельскохозяйственных земель с целью построения почвообрабатываемых контуров сельскохозяйственных угодий, по сути, можно приравнять к процессу определения границ земель сельскохозяйственного назначения по геоэкологическому принципу для конкретных сельскохозяйственных культур, с позиций их наилучшего произрастания.

Основным критерием организации земель сельскохозяйственного назначения в настоящее время является определение координат контуров сельскохозяйственной обработки, либо виртуальных границ, которые переносятся из проекта межевания земель сельскохозяйственного назначения в ЕГРН и ЕФИС ЗСН. Однако этот подход уже безнадежно устарел – получение координат в результате геодезических измерений в первой половине 20 века было значительным и трудоемким, по факту составляло до половины трудозатрат и материальных расходов на организацию системы землеустройства. В настоящее время, в связи с почти повсеместным покрытием территорий GNSS полем измерений, позволяющим использовать технологию RTK измерений, получение координат точки занимает несколько секунд, более того, возможно роботизированными наземными или воздушными комплексами, что в принципе является основой цифрового (умного, точного) земледелия. Соответственно, встает вопрос о кардинальном пересмотре подходов к организации сельскохозяйственного землеустройства с целью создания оптимальных и устойчивых в геоэкологическом отношении единиц управления сельскохозяйственными землями. Решение этого подхода возможно только через организацию управления сельскохозяйственными землями посредством управления агроценозом, границы которого определены не отдельными физическими и экономическими факторами, а комплексом лимитирующих факторов для произрастающих на них сельскохозяйственных растений. Причем эта граница вполне может быть динамической в зависимости от характеристик лимитирующих факторов и вида произрастающей сельскохозяйственной растительности. Как показывают полевые исследования и эксперименты, лимитирующие факторы достаточно стабильны в географическом отношении, поэтому, если они определены грамотно, в дальнейшем пересмотр их границ не требуется очень длительное время (десятилетия), так как вполне возможно управлять данными агроценозами путем смены сельскохозяйственного вида растения и сроков его агрообработки (посев, рыхление, полив и т. д.).

Организация землеустройства земель сельскохозяйственного назначения с геоэкологических позиций (в том числе минимизации углеродного следа) в общих чертах нам видится примерно в следующей последовательности:

1. Отнесение исследуемой территории сельскохозяйственных земель к конкретной ландшафтно-климатической зоне, с целью определения диапазона лимитирующих факторов подсистемы «воздух» (сумма активных температур, сумма температур безморозного периода, коэффициент увлажнения, толщина снежного покрова и т. д.).

2. Определение базовых физико-географических (рельеф, почвообразующие породы, почвенный покров, гидрология и т. д.) условий конкретного земельного массива с целью географической дифференциации земельных массивов сельскохозяйственного назначения.

3. Географическое определение лимитирующих параметров подсистемы «почва», не поддающихся или трудно поддающихся корректировке (удельная объемная поверхность, пористость, коэффициент фильтрации, удельная объемная свободная энергия, основная гидрофизическая характеристика).

4. Географическое определение агрохимических лимитирующих параметров, поддающихся корректировке (гумус, азот, фосфор, калий, pH).

5. Определение координат границ земельных участков по некорректируемым лимитирующим параметрам агроценозов.

6. Определение технологических карт производства сельскохозяйственных растений оптимальной продуктивности для диапазона некорректируемых лимитирующих параметров земельного участка (вид растения, сроки посева, рыхления, обработки, сроки и объемы орошения т.д.).

7. Определение углеродного следа для каждого земельного участка, при соответствующей технологии производства определенного вида растений.

При таком подходе к землеустройству сельскохозяйственных земель мы получаем естественные границы агроценозов по лимитирующим факторам, а не по границам почвообработки, соответственно, в диапазонах критических лимитирующих факторов мы можем расчетным способом определить наиболее продуктивную сельскохозяйственную культуру или группу культур, для каждого конкретного земель-

ного участка, при этом продуктивность данной культуры при прочих неизменных условиях будет максимальной, а материальные издержки на ее производство – минимальными. С учетом того, что большинство технологических процессов в сельском хозяйстве возможно оценить по энергозатратам в сопоставимых единицах измерения энергии (например Дж), источником которых как правило является ископаемое топливо, при таком подходе можно добиться того, чтобы эти энергозатраты были минимальными, соответственно, был бы минимальным углеродный след на единицу сельскохозяйственной продукции. Проведя подобное землеустройство один раз, возможно десятилетиями управлять агроценозом, не вызывая его деградации, т. к., по сути, мы будем иметь полную физическую модель участка земель сельскохозяйственного назначения. Сельхозпроизводителю будет необходимо периодически (2 раза в год перед посадкой и после уборки урожая) проводить учет изменений лимитирующих параметров, поддающихся корректировке (гумус, азот, фосфор, калий, рН) с помощью бесконтактных наземных [11–13] или воздушных роботизированных методов определения данных параметров [14; 15] (рисунок) и при необходимости корректировать данные параметры искусственно. В отношении не поддающихся корректировке лимитирующих факторов агроценозов, сельхозпроизводителю будет необходимо придерживаться технологических карт производства сельскохозяйственных растений, реагируя на их изменение только в случаях их выхода за пределы «оптимума» растений. Границы земельных участков сельскохозяйственного назначения, определенные подобным образом, будут естественными границами агроэкосистем, управлять которыми возможно посредством автоматизированных государственных информационных систем (ЕГРН, ЕФИС ЗСН) с максимальной эффективностью и минимальным воздействием на агроэкосистемы, оставляя при этом минимальный углеродный след.

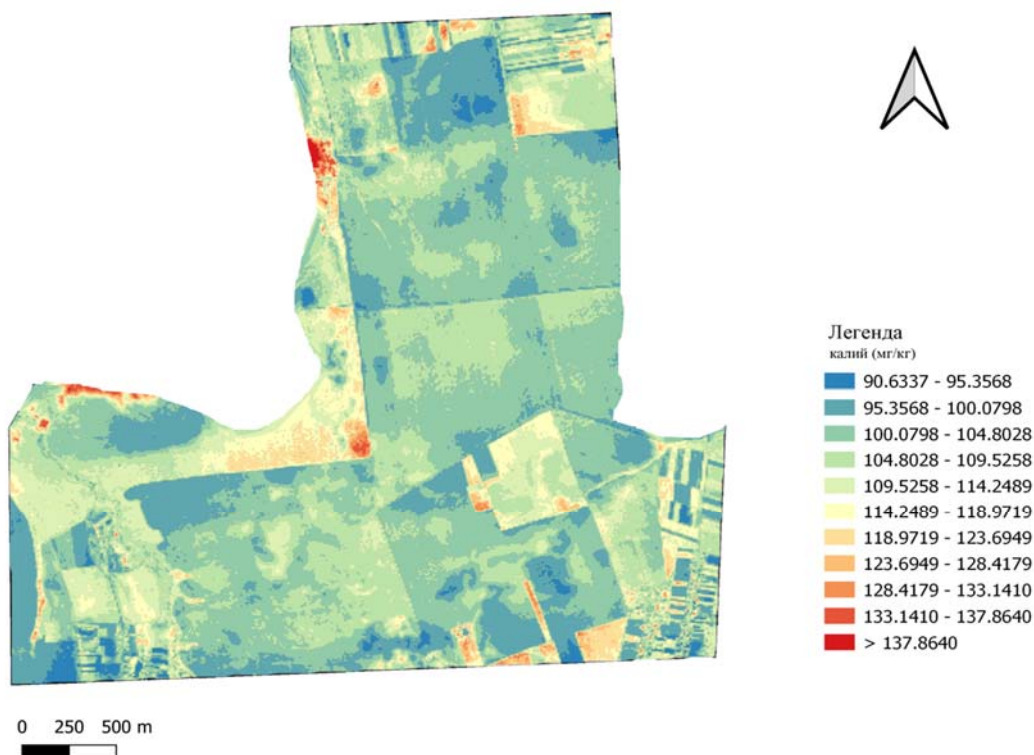


Рис. Пример карты показателей содержания обменного калия экспериментального участка «Комсомольский», построенной по алгоритмам, рассчитанным по спектральному каналу «green», полученного с использованием БПЛА Supercam-S350F, оснащенного многозональной камерой Tetracam

Заключение

В настоящее время в России назрело изменение существующих подходов к формированию земельных участков сельскохозяйственного назначения в ходе проведения землеустройства. Вместо традиционных подходов к землеустройству необходимо внедрение агроценологического подхода, прежде всего для определения пространственных границ лимитирующих параметров подсистемы агроценоза

«почва», не поддающихся или трудно поддающихся корректировке (удельная объемная поверхность, пористость, коэффициент фильтрации, удельная объемная свободная энергия, основная гидрофизическая характеристика) и периодического бесконтактного роботизированного контроля учета изменений лимитирующих параметров, поддающихся корректировке (гумус, азот, фосфор, калий, pH). В качестве границ земельных участков сельскохозяйственного назначения необходимо принимать не координаты многолетних контуров обработки почвы, а естественные границы агроценозов по лимитирующим факторам. Внедрение данного подхода в практику землеустройства земель сельскохозяйственного назначения позволит сформировать оптимальные и устойчивые в геоэкологическом отношении земельные участки сельскохозяйственного назначения и выращивать на них сельскохозяйственные растения с минимальным углеродным следом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Докучаев В.В. Русский чернозем. Отчет Императорскому Вольному Экономическому Обществу. Санкт-Петербург: Типография Деклерона и Евдокимова, 1883. 395 с.
2. Шеин Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика. Ростов на Дону: Феникс, 2006. 400 с.
3. Сироткин В.В., Сироткин В.М. Прикладная гидрофизика почв. Чебоксары: Изд-во Чувашского ун-та, 2001. 252 с.
4. Gianluigi Zangari. Risk of global climate change by BP oil spill (итал.) // Consi glio Nazionale delle Ricerche. 2010. URL: (PDF) RISK OF GLOBAL CLIMATE CHANGE BY BP OIL SPILL (researchgate.net) (дата обращения: 02.04.2020).
5. Сироткин В.В. Гидрофизические исследования почв в прикладной геоэкологии: дисс. ... доктора географических наук. Чебоксары, 2002. 330 с.
6. Сироткин В.М., Сироткин В.В. А.С. 1822668 СССР, МКИЗ G01N 15/08 Тензиометр / (СССР). 4с.
7. Сироткин В.В. Индикатор полива. Патент 2076581, РФ. 6A01G 25/16, 27/100, 1997. Бюл. № 10.
8. Муромцев Н.А. Использование тензиометров в гидрофизике почв. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 121 с.
9. Тогузов С.А., Петров И.К., Сироткин В.В., Васюков С.В. Устройство автоматического полива растений. Патент на полезную модель № 156341 RU.
10. Коломыц Э.Г. Бореальный экотон и географическая зональность. Атлас-монография. М.: Изд-во Наука, 2005. 389 с.
11. Сироткин В.В., Васюков С.В., Усманов Б.М. Изучение почвенных параметров на основе полевых спектрометрических данных // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, вып. 1. С. 71–82.
12. Vasyukov S.V., Sirotkin V.V., Usmanov B. Spectrometric characteristics of soils of the subboreal zone of the eastern part of the Russian plain // PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING "Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, (RSCy 2020)". 2020. Том 11524.
13. Vasyukov S.V., Sirotkin V.V., Usmanov B.M., Iakimovich D.N., Akhmetzyanova L.G., Toguzov S.A. Application of UAV and spectrometric survey results to determine agrochemical parameters of zonal soils used in agriculture (east of European Russia) // PROCEEDINGS OF SPIE – THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING 23. Сер. "Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXIII". 2021. Том 11856.
14. Васюков С.В., Маркелова Е.А., Тогузов С.А. Программное обеспечение для мониторинга состояния почв с помощью БПЛА. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613066. 2020.
15. Маркелова Е.А., Васюков С.В., Тогузов С.А. Программное обеспечение для мониторинга состояния почв с помощью беспилотных летательных аппаратов // Наука, техника, педагогика. Новые технологии высшей школы: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии – 2019» (Россия, Москва, 26 февраля 2019 года). М.: Московский Политех, 2019. С. 199–203.

Поступила в редакцию 31.05.2023

Васюков Сергей Владимирович, кандидат географических наук,
начальник отдела землеустройства и мониторинга земель, геодезии и картографии,
кадастровой оценки недвижимости
Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии
по Чувашской Республике
428000, Россия, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.56
E-mail: vasyukovsv@gmail.com

Сироткин Вячеслав Владимирович, доктор географических наук, профессор,
 профессор кафедры ландшафтной экологии Института экологии и природопользования
 ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18 (корп. 1)
 E-mail: sirotkin067@gmail.com

S.V. Vasyukov, V.V. Sirotkin

**ORGANIZATION OF THE USE OF AGRICULTURAL LAND OF AN ADMINISTRATIVE UNIT
 OF THE MUNICIPAL LEVEL FROM GEOECOLOGICAL POSITIONS**

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-2-166-177

The article proposes geoecological approaches to the organization of the agricultural land use system based on the limiting parameters of agrocenoses. As the main limiting parameters of agrocenoses, the hydrophysical and energy parameters of soils are scientifically substantiated. Based on limiting parameters, approaches are defined to determine the boundaries of agricultural land plots in order to minimize the carbon footprint of agricultural products. Non-contact methods for determining the agrochemical and hydrophysical parameters of soils using field spectrometers and UAVs are substantiated.

Keywords: geoecology, soils, land management, agrocenosis, hydrophysical parameters of soils, main hydrophysical characteristics of soils, agrochemical indicators, spectrometer, UAV.

REFERENCES

1. Dokuchaev V.V. *Russkiy chernozem. Otchet" Imperatorskomu Vol'nomu Ekonomicheskomu Obshchestvu* [Russian chernozem. Report to the Imperial Free Economic Society], St.Peterburg: Tipografiya Deklerona i Evdokimova, 1883, 395 p. (in Russ.).
2. Shein E.V., Goncharov V.M. *Agrofizika* [Agrophysics], Rostov-na -Donu: Feniks Publ., 2006, 400 p. (in Russ.).
3. Sirotkin V.V., Sirotkin V.M. *Prikladnaya gidrofizika pochv* [Applied soil hydrophysics.], Cheboksary: Chuvash. Univ., 2001, 252 p. (in Russ.).
4. Gianluigi Zangari. Risk of global climate change by BP oil spill, in *Consiglio Nazionale delle Ricerche*, 2010. Available at: (PDF) RISK OF GLOBAL CLIMATE CHANGE BY BP OIL SPILL (researchgate.net) (accessed: 02.04.2020) (in Italian)
5. Sirotkin V.V. [Hydrophysical research of soils in applied geoecology], Dr. Geography sci. diss., Cheboksary, 2002, 330 p. (in Russ.).
6. Sirotkin V.M., Sirotkin V.V. A.S. 1822668 SSSR, MKI3 G01N 15/08 Tenziometr. / (SSSR). 4 p. (in Russ.).
7. Sirotkin V.V. Indikator poliva. Patent 2076581, RF. 6A01G 25/16, 27/100, 1997. Bjul. № 10. (in Russ.).
8. Muromcev N.A. *Ispol'zovanie tenziometrov v gidrofizike pochv* [The use of tensiometers in soil hydrophysics], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979, 121 p. (in Russ.).
9. Toguzov S.A., Petrov I.K., Sirotkin V.V., Vasyukov S.V. *Ustroystvo avtomaticheskogo poliva rasteniy. Patent na poleznyuyu model' № 156341 RU* [Automatic plant watering device. Utility model patent No. 156341 EN] (in Russ.).
10. Kolomyts E.G. *Boreal'nyy ekoton i geograficheskaya zonal'nost'. Atlas-monografiya* [Boreal ecotone and geographical zonality. Atlas-monograph], Moscow: Nauka Publ., 2005, 389 p. (in Russ.).
11. Sirotkin V.V., Vasyukov S.V., Usmanov B.M. [Study of soil parameters based on field spectrometric data], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*, 2020, vol. 30, iss. 1, pp. 71-82 (in Russ.).
12. Vasyukov S.V., Sirotkin V.V., Usmanov B. Spectrometric characteristics of soils of the subboreal zone of the eastern part of the Russian plain, in *PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING "Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, (RSCy 2020)"*, 2020, vol. 11524.
13. Vasyukov S.V., Sirotkin V.V., Usmanov B.M., Iakimovich D.N., Akhmetzyanova L.G., Toguzov S.A. Application of UAV and spectrometric survey results to determine agrochemical parameters of zonal soils used in agriculture (east of European Russia), in *PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING 23. Ser. "Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXIII"*, 2021, vol. 11856.
14. Markelova E.A., Toguzov S.A., Vasyukov S.V. *Programmnoe obespechenie dlya monitoringa sostoyaniya pochv s pomoshch'yu BPLA. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2020613066* [Software for monitoring soil conditions using UAVs. Certificate of state registration of the computer program No. 2020613066], 2020 (in Russ.).
15. Markelova E.A., Vasyukov S.V., Toguzov S.A. *Programmnoe obespechenie dlya monitoringa sostoyaniya pochv s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Software for monitoring the state of soils using unmanned aerial

vehicles], in Mater. Vseross. nauch.-prakt. konf. "Nauka – Obshchestvo – Tekhnologii – 2019" "Nauka, tekhnika, pedagogika. Novye tekhnologii vysshey shkoly" (Moscow, February 26, 2019), Moscow: Mosk. Politekh, 2019, pp. 199-203 (in Russ.).

Received 31.05.2023

Vasyukov S.V., Candidate of Geography, Head of the Department of Land Management and Land Monitoring, Geodesy and Cartography, Cadastral Real Estate Valuation
Office of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in the Chuvash Republic
K. Marksa st., 56, Cheboksary, Russia, 428000
E-mail: vasyukovsv@gmail.com

Sirotkin V.V., Doctor of Geography, Professor, Professor of the Department of Landscape Ecology, Institute of Ecology and Nature Management
Kazan (Volga Region) Federal University
Kremlevskaya st., 18/1, Kazan, Russia, 420008
E-mail: sirotkin067@gmail.com