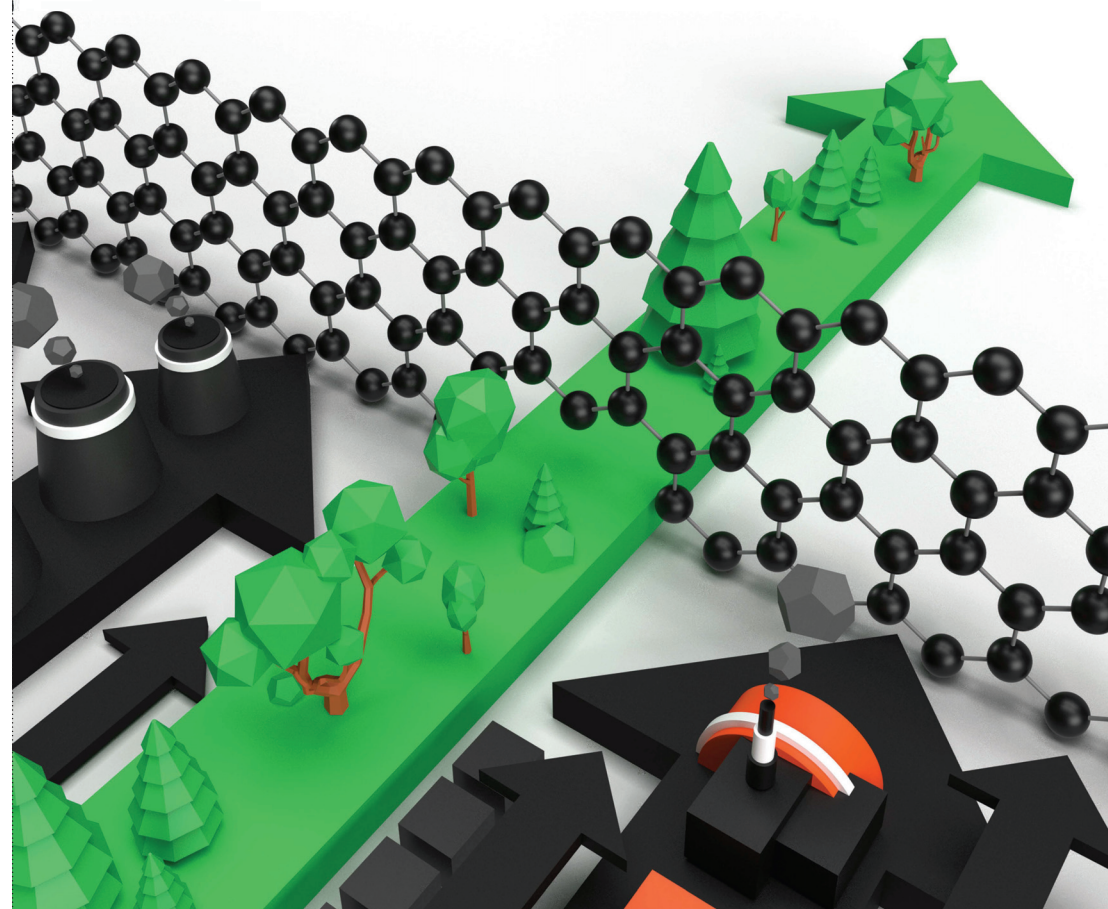




# Карбоновое земледелие: условия для прорыва

Под редакцией А.Ю. Иванова, Р.С. Куликова



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ  
Институт права и развития ВШЭ — Сколково  
Центр технологического трансфера НИУ ВШЭ  
Международный центр конкурентного права и политики БРИКС

# Карбоновое земледелие: условия для прорыва

*Экспертный доклад*

Под редакцией А.Ю. Иванова, Р.С. Куликова



Издательский дом  
Высшей школы экономики  
Москва, 2022

УДК 631.147  
ББК 40.0  
К21



<https://elibrary.ru/yybeou>

Рецензент

*И.В. Стариков*, заместитель председателя Центрального совета  
Всероссийского общества охраны природы, ведущий научный сотрудник  
Института экономики РАН

Авторский коллектив:

*А.Ю. Иванов, Р.С. Куликов* (руководители авторского коллектива),  
*Ю.Е. Ровнов, М.Э. Калимуллина, М.А. Беляева, К.В. Пиксендеев*

Под редакцией *А.Ю. Иванова, Р.С. Куликова*

**Карбоновое земледелие:** условия для прорыва [Текст] : экспертный доклад / под ред. А. Ю. Иванова, Р. С. Куликова (рук-ли авт. кол.); Ю. Е. Ровнов, М. Э. Калимуллина, М. А. Беляева, К. В. Пиксендеев ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. — 64 с. — 150 экз. — ISBN 978-5-7598-2738-2 (в обл.). — ISBN 978-5-7598-2823-5 (e-book).

Настоящий доклад развивает идеи, выдвинутые в докладе «Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России». Авторы объясняют, почему климатические проекты в сельском хозяйстве играют не менее важную роль в достижении целей низкоуглеродного развития, чем лесоклиматические проекты, и описывают условия, необходимые для успешной реализации потенциала карбонового земледелия в стране. Первоочередным из них является экономическая заинтересованность сельхозпроизводителей во внедрении новых методов хозяйствования и реализации карбоновых проектов. Такая заинтересованность может обеспечиваться прямыми бюджетными выплатами, а также наличием эффективно функционирующего международного рынка углеродных единиц с присутствием зарубежных покупателей, в том числе из стран БРИКС.

УДК 631.147  
ББК 40.0

Опубликовано Издательским домом Высшей школы экономики  
<http://id.hse.ru>

doi:10.17323/978-5-7598-2738-2

ISBN 978-5-7598-2738-2 (в обл.)  
ISBN 978-5-7598-2823-5 (e-book)

© Авторы, 2022

# Содержание

<b>I. Введение: роль и место карбонового земледелия в достижении целей низкоуглеродного развития .....</b>	<b>4</b>
1. На землях сельскохозяйственных культур .....	7
2. На органических (торфяных) землях.....	10
3. На деградированных землях .....	11
4. Навоз .....	11
<b>II. Факторы стимулирования сельхозпроизводителей к участию в программе карбонового земледелия.....</b>	<b>18</b>
<b>III. Европейский опыт организации углеродного рынка .....</b>	<b>23</b>
1. Об углеродных рынках.....	23
2. Общая информация о СТВ ЕС .....	25
3. Механизмы работы СТВ ЕС .....	28
<b>IV. Китайский опыт организации углеродного рынка.....</b>	<b>34</b>
1. Нормативно-правовая база .....	34
2. Допущенные к торгам активы.....	35
3. Рынок CCER.....	36
4. Порядок итогового взаимозачета.....	37
5. Субъекты рынка .....	38
6. Существующие проблемы и вызовы.....	39
<b>V. Отдельные вопросы формирования системы МОВ для проектов в сфере карбонового земледелия .....</b>	<b>40</b>
<b>VI. Выводы .....</b>	<b>55</b>
<b>Литература .....</b>	<b>57</b>
<b>Об авторах.....</b>	<b>62</b>

# **I. Введение: роль и место карбонового земледелия в достижении целей низкоуглеродного развития**

Наземные экосистемы поглощают около 30% ежегодных антропогенных выбросов диоксида углерода<sup>1</sup>. Этот процесс принято в значительной степени относить на счет лесов, которые наращивают собственную биомассу благодаря активному поглощению диоксида углерода из воздушной атмосферы.

Однако не менее важной является и роль иных экосистем — прежде всего тех, которые активно запасают атмосферный углерод в почвах, где он сохраняется многократно дольше и где его хранится в среднем в 2–4 раза больше, чем в биомассе растений<sup>2</sup>. При этом ускоренное поглощение углерода биомассой может негативно сказываться на секвестрации углерода в почву и сопровождаться потерями почвенного углерода — предположительно из-за его высвобождения в процессе питания растений. Метаанализ экспериментальных данных показывает, что при увеличении лесной биомассы на 21–25% содержание органического углерода в лесных почвах меняется на  $(-2)$ – $(+2)$ % (т.е. может как повышаться, так и снижаться), в то время как увеличение биомассы растений на лугопастбищных угодьях на 6–12% сопровождается устойчивым увеличением количества почвенного углерода на 6–10%<sup>3</sup>. С этими выводами перекликаются данные об отрицательном суммарном балансе углерода в органопротиле лесных

---

<sup>1</sup> [Terrer et al., 2021, p. 599].

<sup>2</sup> [Иванов, Столбовой, 2019, с. 193].

<sup>3</sup> [Terrer et al., 2021, p. 599].

почв России и, наоборот, о положительном — в почвах тундры<sup>4</sup>. Положительный баланс углерода в почвах России обеспечивают травяно-кустарниковые угодья, степи, умеренные леса, мелко-торфяные болота тундры<sup>5</sup>.

Таким образом, наряду с лесным хозяйством, значимое влияние на сокращение концентраций парниковых газов в атмосфере могут оказать сельское хозяйство и другие виды землепользования. Как отмечает один из авторов процитированного выше исследования, «было бы ошибкой высаживать деревья на естественных лугах и в естественных саваннах», поскольку «травяные экосистемы, на которых очень мало деревьев, имеют столь же важное значение с точки зрения накопления углерода в почве»<sup>6</sup>. Потому внедрение практик, направленных как на снижение эмиссии парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), так и на секвестрацию углерода в сельхозпроизводстве, является задачей не менее важной, чем увеличение поглотительной способности лесов, тем более что на сельское хозяйство приходится более половины антропогенных выбросов метана и закиси азота<sup>7</sup> и существенная доля совокупной антропогенной эмиссии парниковых газов<sup>8</sup>, а увеличение пахотных площадей в мире зачастую происходит за счет лесов. При этом, по некоторым оценкам, поглощающая способность лугопастбищных угодий с многолетними травами (которые обеспечивают положительный баланс почвенного углерода в размере до 2,4 т углерода/га<sup>9</sup>, или соответственно около 8,8 т  $\text{CO}_2$ -эквивалента/га) значительно превышает таковую у лиственных деревьев (до 3,6 т  $\text{CO}_2$ -эквивалента/га) и еще более — у хвойных (до 2,4 т  $\text{CO}_2$ -эквивалента/га)<sup>10</sup>.

---

<sup>4</sup> [Национальный доклад, 2018, с. 120].

<sup>5</sup> Там же, с. 125.

<sup>6</sup> [Garthwaite, 2021].

<sup>7</sup> По информации, представленной в докладе для Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), на сельское хозяйство приходится 56% антропогенных выбросов парниковых газов без учета  $\text{CO}_2$  [Smith et al., 2014, p. 822].

<sup>8</sup> В докладе для МГЭИК приводится показатель 10–12% [Smith et al., 2014, p. 822, 869]. Аналогичный показатель (10%) приводится, например, и по Европейскому союзу [COWI et al., 2021a, p. 3].

<sup>9</sup> [Иванов, Столбовой, 2019, с. 193].

<sup>10</sup> [Шварц, Плужников, 2022].

В связи с этим авторы Национального доклада «Глобальный климат и почвенный покров России» отмечают:

*«Без надлежащего учета потенциала сектора землепользования невозможно достичь цели Парижского соглашения по стабилизации роста глобальной температуры в пределах 2 °С и создать ландшафты, устойчивые к изменению климата. Совершенствование и повсеместное внедрение таких методов землепользования, как сельское хозяйство с низким уровнем выбросов углерода, агролесомелиорация, сохранение и восстановление экосистем, могут сократить разрыв в выбросах до 25%, одновременно уменьшая риски, связанные с изменением климата, и повышая устойчивость ключевых секторов экономики, основанных на землепользовании»<sup>11</sup>.*

Авторы доклада, кроме того, заявляют, что сдерживание глобального потепления в пределах 1,5 °С предполагает удаление (а не просто сокращение выбросов) углекислого газа из атмосферы, в том числе путем повышения запасов углерода почв<sup>12</sup>.

К методам растениеводства с наиболее низким уровнем выбросов углерода относится так называемое карбоновое земледелие, методы которого можно разделить на две группы. В одну входят методы сокращения абсолютного объема выбросов на единицу площади. В другую — методы так называемой устойчивой интенсификации (*sustainable intensification*), т.е. снижения углеродоемкости (и в целом эмиссионной емкости) единицы продукции за счет повышения урожайности или большей эффективности использования сельхозпродукции, хотя абсолютный объем выбросов на единицу площади при этом может и увеличиваться<sup>13</sup>. Очевидно, однако, что интенсификация всегда имеет обратную сторону. Например, сбор пожнивных остатков (как побочных продуктов сельхозпроизводства) для получения биотоплива или кормов может привести к сокращению запасов углерода и питательных веществ в почвах и в целом негативно сказаться на их качестве, а увеличение урожайности может стимулировать дальнейший рост потребления

---

<sup>11</sup> [Национальный доклад, 2019, с. 32].

<sup>12</sup> Там же, с. 33.

<sup>13</sup> [Smith et al., 2014, p. 829].

и распашку дополнительных площадей под выращивание сельхозпродукции<sup>14</sup>.

В докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) описаны следующие методы и мероприятия, которые можно включить в понятие «карбоновое земледелие» в широком смысле, т.е. направленное на сохранение и увеличение запасов углерода в биомассе растений и в почве<sup>15</sup>.

### 1. На землях сельскохозяйственных культур

**Агрономические мероприятия.** Во-первых, это методы, направленные на повышение почвенных запасов углерода через увеличение биомассы растений. К ним могут относиться селекция культур с развитой корневой системой и эффективной конверсией питательных веществ, расширение севооборота (особенно с использованием многолетних культур, которые запасают больше углерода в почве), отказ от паровых полей или сокращение времени нахождения поля под паром. Отмечается, что внесение в почву недостающих питательных веществ также может способствовать конверсии углерода в пахотном слое почвы, но при использовании азотных удобрений положительный эффект может быть нивелирован дополнительной эмиссией закиси азота почвами и углекислого газа при производстве удобрений. Кроме того, попадание значительных объемов фосфора и азота с сельскохозяйственных земель в водоемы (эвтрофикация) приводит к бурному развитию зеленых водорослей. Препятствуя поступлению света и кислорода в толщу воды, такое «цветение» запускает процессы отмирания живых организмов и гниения, сопровождающиеся выбросом метана<sup>16</sup>.

Во-вторых, снизить эмиссию парниковых газов позволяет использование культур и систем земледелия, которые требуют мень-

---

<sup>14</sup> [Smith et al., 2014, p. 837–838].

<sup>15</sup> [Smith et al., 2007, p. 505–511; Smith et al., 2014, p. 830–832].

<sup>16</sup> Одновременно, однако, эвтрофикация может приводить и к кратному увеличению объемов захоронения органического углерода в донных отложениях (см., например: [Heathcote and Downing, 2012, p. 67]).



## Карбоновое земледелие: условия для прорыва

ших объемов удобрений, пестицидов и прочих агрохимикатов (что будет означать и снижение углеродного следа от их производства). Отдельно отмечается эффект от использования покровных культур — как в период после сбора урожая и следующего посева, так и на постоянной основе между рядами плодовых деревьев и кустарников (винограда). Показано, что покровные культуры могут извлекать из почвы биологический азот, который недоступен обычным сельхозкультурам, и, таким образом, сокращать эмиссию закиси азота.

**Оптимизация внесения питательных веществ.** Значительный вклад в эмиссию закиси азота вносит не усвоенный растениями азот из удобрений (как из неорганических, так и из органических). При этом сокращение объемов избыточно вносимого азота позволяет снизить не только прямую эмиссию закиси азота, но и выбросы при производстве азотных удобрений, а также выбросы закиси азота в результате попадания азота в сточные воды.

К методам, позволяющим снизить объем неусвоенного азота, относятся: прецизионное внесение удобрений, использование медленно растворимых удобрений, удобрений с контролируемым высвобождением питательных веществ и ингибиторов нитрификации (которые замедляют процесс образования оксида азота), а также оптимизация сроков внесения азотных удобрений (внесение непосредственно перед периодом их усвоения растением).

**Оптимизация механической обработки почвы, сохранение пожнивных остатков.** Поскольку механическая обработка стимулирует высвобождение почвенного углерода, ее ограничение в некоторых случаях, хотя и не всегда, может приводить к накоплению углерода в почве. В материалах МГЭИК упоминается также возможное влияние сокращения вспашки на выбросы закиси азота, но при этом отмечается, что надежные данные и показатели по этому вопросу отсутствуют. Эффект ограничения механической обработки может, в частности, зависеть от состояния почвы и от климатических условий. Дополнительный косвенный эффект при этом достигается благодаря сокращению затрат энергии на сельскохозяйственную технику.

Увеличение запасов почвенного углерода наблюдается при сохранении пожнивных остатков, поскольку из них формируется органическое вещество почвы — основное депо почвенного углерода. Кроме того, отказ от сжигания пожнивных остатков позволяет избежать выбросов парниковых газов при горении.

**Оптимизация режимов орошения и осушения.** Способствуя росту урожайности, увеличение площади орошаемых земель и повышение эффективности орошения могут привести к росту объемов накопления почвенного углерода<sup>17</sup>. В регионах с высоким уровнем влажности повышение урожайности и сопутствующее ему сокращение выбросов, наоборот, могут быть достигнуты осушением полей, которое, кроме того, будет способствовать сокращению выбросов закиси азота благодаря более активной аэрации почв<sup>18</sup>.

**Оптимизация методов выращивания риса.** Выращивание риса на затопленных полях сопровождается значительными выбросами метана. Решением могут быть использование сортов с низким уровнем корневых выделений низкомолекулярных веществ, максимальное осушение полей в периоды между посадками, внесение органических остатков только в сухие периоды, превращение органических остатков в компост перед внесением.

**Создание агролесных систем.** Идея совместного выращивания сельхозкультур и лесных растений не нова. Реализацию концепции лесозащитных полос еще в конце XIX в. начал В.В. Докучаев, активное развитие она получила в рамках послевоенного «Сталинского плана преобразования природы»<sup>19</sup>. План предусматривал реализацию травопольной системы земледелия, включающей целый ряд мероприятий, которые можно отнести к карбоновому земледелию (высадка защитных лесополос, травопольные полевые и кормовые

---

<sup>17</sup> При этом увеличение энергозатрат на доставку воды может привести к большей эмиссии CO<sub>2</sub>, а повышение влажности почв — к увеличению выбросов N<sub>2</sub>O.

<sup>18</sup> Отрицательный эффект при этом может быть связан с попаданием неусвоенного азота в дренажные системы.

<sup>19</sup> [Совет министров СССР и ЦК ВКП (б), 1948].

## Карбоновое земледелие: условия для прорыва

севообороты, использование высокоурожайных районированных сортов, орошение водами местного стока)<sup>20</sup>. Отмечается, что внедрение такой системы на полях Научно-исследовательского института земледелия центрально-черноземной полосы имени В.В. Докучаева (сегодня — ФГБНУ «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева») привело к удвоению урожаев зерновых, а в засушливые годы — к превышению урожайности в 3–4 раза по сравнению с соседними колхозами<sup>21</sup>.

Результатом применения лесозащитных полос в степной полосе (в Воронежской области) стали подъем уровня грунтовых вод на 2 м, увеличение влажности почвы, изменение микроклимата со степного на лесостепной (более благоприятный для выращивания сельхозкультур), повышение содержания органического углерода в почве<sup>22</sup>.

Интегрированные системы растениеводства, животноводства и лесоводства сегодня распространяются в Бразилии в рамках национальной программы по переходу на низкоуглеродное сельское хозяйство.

**Применение покровных культур.** Один из наиболее эффективных методов снижения эмиссии парниковых газов. Покровные культуры могут высаживаться как по всей площади сельхозугодья, так и на отдельных его участках. Высаживание трав на сельхозполях обычно приводит к увеличению почвенного углерода благодаря снижению интенсивности нарушения почвенного покрова и менее активному выводу углерода в растения. Травяные поля, кроме того, характеризуются более низкой эмиссией оксида диазота.

## 2. На органических (торфяных) землях

Такие почвы характеризуются высокой плотностью органического углерода, накапливаемого в них веками из-за отсутствия в подопленной почве кислорода и замедления процессов разложения.

---

<sup>20</sup> [Совет министров СССР и ЦК ВКП (б), 1948, преамбула].

<sup>21</sup> Там же.

<sup>22</sup> [Vertyanikina, 2019, p. 6].

Осушение органических (торфяных) почв запускает процессы разложения и, соответственно, приводит к значительной эмиссии  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$ . Сократить этот эффект помогают отказ от пропашных и клубневых культур, отказ от глубокой вспашки и поддержание мелкого горизонта грунтовых вод. Полностью избежать его, однако, можно только при абсолютном отказе от осушения таких почв.

### 3. На деградированных землях

Запасы углерода в деградированных почвах можно пополнить путем восстановления растительного покрова, внесения питательных веществ для повышения плодородия, внесения органических субстратов, ограничения механической обработки и сохранения пожнивных остатков, сохранения воды<sup>23</sup>.

### 4. Навоз

Применение навоза в качестве органического азотсодержащего удобрения является одним из основных источников эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  в сельском хозяйстве. Кроме того, навоз жвачных животных наряду с кишечной ферментацией вносит значительный вклад в выбросы  $\text{CH}_4$ . Снижения выбросов парниковых газов из этого источника возможно достичь тремя путями: изменением методик кормления; использованием добавок к рациону; селекцией пород, продукты жизнедеятельности которых характеризуются низким уровнем выбросов.

В частности, переход с фуража на концентраты позволяет снизить удельные выбросы метана как на килограмм корма, так и на килограмм животноводческой продукции (хотя совокупные выбросы при этом могут вырасти). Нетто-результат использования концентрированных кормов зависит от масштабов сокращения поголовья и снижения возраста забоя, а также от последствий в

---

<sup>23</sup> Нужно учитывать при этом, что использование азотных удобрений может привести к росту эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$ .

## Карбоновое земледелие: условия для прорыва

части изменения характера использования высвободившихся земель, содержания азота в навозе и объема выбросов, связанных с производством и транспортировкой самих кормовых концентратов. Дополнительно снизить выбросы метана позволяют добавление в рацион масел или масличных культур, повышение качества пастбищ (что приводит к увеличению продуктивности и сокращению потерь энергии), оптимизация потребления белков (в целях сокращения содержания азота в выделениях).

В качестве добавок к рациону, подавляющих биосинтез метана в организме животного, в докладах МГЭИК предлагается использовать антимикробные вещества из группы ионофоров, хотя признается, что, во-первых, их эффект может быть кратковременным, а во-вторых, в некоторых странах ионофоры отнесены к ветеринарным препаратам (а не к кормовым добавкам) со всеми вытекающими из этого последствиями в части регулирования их использования в животноводстве. Другими вариантами могут быть галогенированные соединения (также с временным эффектом); растительные составы (например, кондженсированные танины, сапонины или эфирные масла), хотя их использование может приводить к снижению усвояемости рациона. В настоящее время разрабатываются вакцины против метаногенных бактерий. Добиться удельного сокращения выбросов метана на килограмм продукции позволяет использование бычьего соматотропина.

Наконец, снижение удельных выбросов возможно и благодаря росту производительности в результате улучшения методов животноводства (например, сокращения ремонтного поголовья) и селекции более продуктивных пород (и, как следствие, снижению возраста забоя). Необходимо учитывать, однако, что рост продуктивности может вести к снижению фертильности, а значит, и к увеличению ремонтного поголовья.

Снизить выбросы от навоза при его хранении позволяют охлаждение, использование твердых покрытий, отделение твердого навоза от навозной жижи, технологическое улавливание эмитированного метана. В анаэробных дигесторах навоз можно сбраживать с помощью микроорганизмов и использовать получившийся метан для производства биоэнергии.

В твердой форме навоз (например, компостируемый) выделяет меньше метана, однако может выделять больше закиси азота. Укрытие навоза, наоборот, снижает выбросы  $N_2O$ , но может приводить к росту выбросов  $CH_4$ .

\* \* \*

Как видно из приведенного перечня, диапазон возможных мероприятий достаточно широк. В материалах МГЭИК отмечается, что никакой набор мер не является универсальным, эффект каждого мероприятия будет определяться, среди прочего, характеристиками того или иного региона и должен оцениваться исходя из климатических условий, состояния почв, исторически сложившихся моделей землепользования и социальных факторов<sup>24</sup>. Кроме того, эффективность некоторых мероприятий — например, направленных на увеличение запасов углерода в почвах — по мере их реализации будет неизбежно снижаться<sup>25</sup>.

Первые оценки потенциальной эффективности методов карбонового земледелия в российских условиях уже есть. По расчетам экспертов Почвенного института им. В.В. Докучаева, одни только пахотные и пастбищные земли России при переходе на углеродосберегающие технологии могут обеспечить *совокупную* секвестрацию до 2,4 млрд т углерода, что более чем в 4 раза больше ежегодной эмиссии страны (около 0,681 млрд т углерода, или 2,5 млрд т  $CO_2$ -эквивалента)<sup>26</sup>. Более консервативная оценка содержится в докладе НИУ ВШЭ «Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России», в котором экономический потенциал карбоновых практик оценивался исходя из эффекта от их внедрения на уровне в среднем 175 млн т  $CO_2$ -эквивалента, или около 48 млн т углерода в год<sup>27</sup>.

<sup>24</sup> [Smith et al., 2007, p. 513].

<sup>25</sup> Ibid.

<sup>26</sup> [Иванов, Столбовой, 2019, с. 191, 197]. См. также: [Столбовой, Савин, 2018]. В Седьмом национальном сообщении Российской Федерации по РКИК ООН и Киотскому протоколу указан объем совокупных выбросов без учета сектора ЗИЗЛХ в размере 2,6 млрд т  $CO_2$ -эквивалента [Российская Федерация, 2017].

<sup>27</sup> [Иванов, Дурманов, 2021]. При такой оценке на секвестрацию 2,4 млрд т  $CO_2$ -эквивалента потребуется около 50 лет, в то время как в качестве срока насыщения пахотных почв углеродом указывается 12–15 лет [Иванов, Столбовой, 2019, с. 198].

При этом характерная особенность России — наличие значительных площадей (по некоторым оценкам, до 80 млн га) залежных земель (земель сельхозназначения, выведенных из сельхозоборота), которые являются поглотителем углерода и сегодня, но поглощающая способность которых может быть дополнительно увеличена за счет оптимизации растущих на них растений, методов их обработки и т.д.

Необходимо признать, однако, что существующие на сегодня оценки потоков парниковых газов в наземных экосистемах опираются на допущения и требуют уточнения. На решение этой задачи направлена, среди прочего, Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 гг., которая предполагает проведение исследований источников эмиссии и поглотителей парниковых газов<sup>28</sup>, в том числе путем развертывания пилотной сети карбоновых полигонов<sup>29</sup>.

Точное понимание и учет объемов выбросов и поглощений, связанных с лесным и сельским хозяйством и другими видами землепользования, важны еще и потому, что их значение в рамках климатической повестки не ограничивается лишь самим этим сектором. Так, в рамках перевода транспорта на возобновляемые источники энергии во внимание принимается углеродный след сельскохозяйственной продукции, служащей сырьем для производства биотоплива. При этом намечается тенденция на включение в расчет не только выбросов, связанных со всеми этапами жизненного цикла сырья<sup>30</sup>, включая *прямое* изменение характера землепользования (вырубка лесов / осушение болот и торфяников под пахотные угодья, предназначенные для выращивания биотопливного сырья), но и выбросов за пределами жизненного цикла, т.е. тех, что вызваны *косвенным* изменением характера землепользования (вырубка лесов / осушение болот и торфяников под пахотные угодья для выращивания сельхозпродукции пищевого назначения в связи с тем, что имевшиеся ранее площади уже используются для выращивания биотопливного сырья).

---

<sup>28</sup> [Правительство РФ, 2022].

<sup>29</sup> Там же, с. 9.

<sup>30</sup> Например, согласно стандарту ISO 14067:2018.

Например, директива Евросоюза о возобновляемой энергетике (RED II)<sup>31</sup> предусматривает постепенный отказ от отнесения к числу возобновляемых источников энергии тех видов биотопливного сырья, производство которых сопряжено с высоким риском косвенных изменений характера землепользования на территориях с большими запасами углерода<sup>32</sup>. Пока в этот перечень попало только пальмовое масло: по оценкам Европейской комиссии, расширение плантаций масличной пальмы на 1 га опосредованно приводит в среднем к уменьшению (не обязательно в той же стране) площадей лесных угодий на 0,45 га, а болот и торфяников — на 0,23 га<sup>33</sup>. Соя, которая находится на втором месте с показателями соответственно 0,08 и 0 га, как и другие виды растительного сырья (рапс, подсолнечник, пшеница, кукуруза, сахарная свекла, сахарный тростник), к высокорисковым пока не отнесены, хотя перечень может быть пересмотрен при появлении новых научных данных<sup>34</sup>.

Заложенный в RED II подход имеет прямые негативные последствия для стран — производителей пальмового сырья, крупнейшими из которых являются Индонезия и Малайзия. С 2030 г. биотопливо, произведенное из пальмового сырья, нельзя будет засчитывать в счет достижения национальных целей государств — членов ЕС по использованию возобновляемых источников энергии на транспорте<sup>35</sup>, и производители такого топлива и сырья потеряют рынок ЕС<sup>36</sup>. Отстаивая легитимность своего подхода, ЕС ссылается на нормы, предполагающие учет косвенного изменения характера землепользования, в законодательстве США и проек-

---

<sup>31</sup> [ЕС, 2018].

<sup>32</sup> Там же, п. 81 преамбулы и ст. 26(2).

<sup>33</sup> [ЕС, 2019, приложение].

<sup>34</sup> [ЕС, 2019, п. 11 преамбулы и ст. 7].

<sup>35</sup> Сохранится возможность использования пальмового масла, сертифицированного как имеющее низкий риск косвенного изменения характера землепользования [European Commission, 2018, ст. 26(2)—(4); European Commission, 2019].

<sup>36</sup> ЕС признает, что рынок на такое сырье в ЕС формируется в основном (а Индонезия и Малайзия утверждают, что полностью) за счет возможности такого зачета [European Commission, 2021a, п. 819; European Commission, 2021b, п. 837].



те закона Канады<sup>37</sup>. Необходимость учета косвенного изменения характера землепользования также отмечается и в материалах МГЭИК<sup>38</sup>. Таким образом, намечающееся к введению в ЕС трансграничное углеродное регулирование не единственная угроза для экспортеров, в частности для экспортеров сельхозпродукции.

В свете вышесказанного необходимость внедрения практик карбонового земледелия представляется очевидной. Для их широкого распространения, однако, необходимо создание соответствующих условий, главным из которых является экономическая заинтересованность сельхозпроизводителя. Такая заинтересованность может обеспечиваться государственной поддержкой (возможным формам реализации которой будет посвящена следующая глава), рыночными механизмами или сочетанием этих инструментов.

В ряде стран мира уже работают национальные и региональные углеродные рынки, на которых продавцы углеродных единиц могут реализовать их тем, кто в силу закона, требований биржевых площадок к эмитентам ценных бумаг или по иным соображениям стремится компенсировать собственный углеродный след. Наличие такого рынка и возможность выгодной реализации сгенерированных углеродных единиц будет мощным стимулом для внедрения углеродосберегающих практик сельхозпроизводителями. В третьей главе настоящего доклада будет дана краткая характеристика таких рынков и описаны механизмы работы крупнейшего из них — системы торговли выбросами ЕС. В четвертой главе речь пойдет о формировании углеродных рынков в Китае.

Необходимым условием функционирования углеродного рынка является признаваемая на международном уровне сертификация реализуемых на таком рынке углеродных единиц. Единицы, не прошедшие процедуру верификации, не найдут спроса, поскольку не дадут покупателю гарантий признания для тех целей, для которых они приобретаются. Как было справедливо отмечено в отношении лесоклиматических проектов, «для фондируемых на миро-

---

<sup>37</sup> [European Commission, 2021a, п. 303–305; European Commission, 2021b, п. 358–360].

<sup>38</sup> [Smith et al., 2014, p. 835].

вых финансовых рынках и присутствующих на мировых фондовых биржах компаний результатом является получение права собственности на сертифицированные углеродные единицы сокращения выбросов», а не просто абстрактные результаты, зафиксированные в национальном реестре<sup>39</sup>. В пятой главе приводится краткое описание систем мониторинга, отчетности и верификации (МОВ) и обсуждаются отдельные факторы формирования системы МОВ, обеспечивающей международное признание углеродных единиц, сгенерированных на территории России.

Шестая глава содержит выводы.

---

<sup>39</sup> [Шварц, Плужников, 2022].

## II. Факторы стимулирования сельхозпроизводителей к участию в программе карбонового земледелия

Технологии карбонового земледелия не являются открытием для российских аграриев. Некоторые из них уже внедряют такие его элементы, как безотвальная обработка почвы, дифференцированное внесение удобрений, биологические средства защиты растений, сохранение пожнивных остатков, использование покровных культур<sup>40</sup>. Однако широкое распространение практик карбонового земледелия возможно только при наличии у сельхозпроизводителей экономических стимулов для их внедрения. Экономическое стимулирование фермеров возможно за счет бюджетных и (или) частных средств.

Государство может финансировать применение карбоновых методов ведения сельского хозяйства как таковое независимо от результата (*action-based payments*) или финансировать результат, т.е. достигнутое поглощение или сокращение выбросов (*result-based payments*). Частное финансирование осуществляется только за результат, т.е. за сертифицированные углеродные единицы, предполагает наличие организованного (биржевого) или неорганизованного (внебиржевого) рынка, на котором сельхозпроизводитель может их продать.

Авторы «Технического руководства по организации и реализации в ЕС механизмов поддержки карбонового земледелия, ориентированных на результат» выделяют следующие преимущества и

---

<sup>40</sup> [Кулистикова, 2022].

## II. Факторы стимулирования сельхозпроизводителей...

недостатки таких программ по отношению к программам, предполагающим выплаты за внедрение процессов (табл. 1)<sup>41</sup>.

**Таблица 1.** Преимущества и недостатки схем поддержки карбонового земледелия, предусматривающих выплаты за результат

---

### Преимущества:

- Сельхозпроизводитель не связан требованиями по внедрению тех или иных процессов и может сам выбирать способ достижения результата
- Наличие более четкой связи между платежами и достигнутым сокращением/поглощением повышает привлекательность участия в программе для сельхозпроизводителя
- Эффективность достижения результата потенциально повышается благодаря тому, что сокращение или поглощение выбросов является непосредственной целью, а не побочным эффектом внедрения практик устойчивого земледелия
- Снижается риск «негативного отбора» при выборе участков под карбоновое земледелие (сельхозпроизводитель не стимулируется к выбору наименее продуктивных участков для минимизации альтернативных затрат)
- Просветительская роль как для сельхозпроизводителя, так и для общества в целом

---

### Недостатки и ограничения:

- Потенциально более значительные финансовые риски и бóльшая неопределенность для сельхозпроизводителя
- Потенциально более высокая стоимость разработки механизма
- Необходимость организации надежной и признанной системы МОВ
- Необходимость обеспечения дополнительности (*additionality*) и долговременности (*permanence*) получаемых результатов
- Длительные сроки получения надежных результатов
- Необходимость консультативного сопровождения сельхозпроизводителей, для которого могут отсутствовать квалифицированные ресурсы

---

Готовность сельхозпроизводителей участвовать в программе поддержки карбонового земледелия с выплатой за результат будет во многом определяться двумя факторами:

---

<sup>41</sup> [COWI et al., 2021b, p. 17].

## Карбоновое земледелие: условия для прорыва

- простотой и надежностью измерения результатов;
- экономическими рисками, связанными с участием в программе<sup>42</sup>.

Показатели, на основе которых будут производиться выплаты в рамках программы, должны:

- иметь прямую связь с целевыми результатами по хозяйству или земельному участку в части поглощения или сокращения выбросов;
- рассчитываться по единой и понятной методологии;
- в разумные сроки отражать изменения в методах ведения хозяйства;
- не быть подверженными воздействию внешних факторов, находящихся вне контроля сельхозпроизводителя (например, засуха)<sup>43</sup>.

При этом риск недостижения целевых показателей из-за воздействия внешних факторов может наряду с оценкой потенциальной экономической выгоды быть наиболее значимым фактором при принятии решения сельхозпроизводителями об участии в программе. В регионах с высоким риском такого рода целесообразна реализация программ, предусматривающих выплаты за применение карбоновых методов, а не за результат, или гибридных программ<sup>44</sup>.

Наряду с продуманной системой показателей, стимулирующей сельхозпроизводителей на достижение целевых результатов, для эффективной реализации программы поддержки карбонового земледелия необходимы:

- меры по привлечению сельхозпроизводителей в программу, причем еще на стадии ее разработки. Опыт показывает, что «на первоначальном этапе отношение фермеров к любым предлагаемым программам карбонового земледелия будет в лучшем случае скептическим»<sup>45</sup>. Участие в выработке конкретных параметров программы поможет преодолеть это

---

<sup>42</sup> [COWI et al., 2021b, p. 23].

<sup>43</sup> Ibid.

<sup>44</sup> Ibid., p. 24.

<sup>45</sup> Ibid., p. 37. (Пер. наш. — Ю. Р.).

## II. Факторы стимулирования сельхозпроизводителей...

сопротивление и скептицизм, связанные, среди прочего, с описанными выше рисками участия, значительными затратами на участие и сложностью требований<sup>46</sup>;

- экспертно-консультативная поддержка сельхозпроизводителей, аккредитованных органов, валидаторов и верификаторов, которая будет сопряжена как со значительными материальными затратами, так и с необходимостью наличия квалифицированных ресурсов, способных обеспечить такую поддержку. Опыт оказания консультативной поддержки в рамках проектов по сохранению биоразнообразия в ЕС показывает, что она играет ключевую роль в успешной реализации подобных инициатив<sup>47</sup>;
- наличие эффективно функционирующего рынка углеродных единиц<sup>48</sup>;
- наличие признанной системы МОВ, при разработке которой должен быть найден баланс между строгостью требований (которая прямо коррелирует с количеством потенциальных покупателей углеродных единиц) и затратами на их соблюдение<sup>49</sup>;
- возможность независимой сертификации (аудита) углеродных единиц. Хотя во многих действующих сегодня проектах эта функция объединена с функцией мониторинга (*MoorFutures*, немецкий проект обводнения торфяников), консультативной функцией (*CarboCage*, французский проект защитных лесополос; *Burren Programme*, ирландский проект по сохранению ландшафта и биоразнообразия) или организована на национальном уровне (*Label Bas Carbone*, французский проект низкоуглеродной маркировки), независимая сертификация (аудит) имеет наибольшую ценность с точки зрения подтверждения «качества» углеродных единиц для потенциальных покупателей. Кроме того, независимый аудит входит в число требований некоторых

---

<sup>46</sup> [COWI et al., 2021b, p. 37].

<sup>47</sup> Ibid., p. 36, 63.

<sup>48</sup> Ibid., p. 59.

<sup>49</sup> Ibid., p. 46, 79.

## Карбоновое земледелие: условия для прорыва

международных стандартов сертификации (например, *Gold Standard*)<sup>50</sup>.

В следующих двух главах речь пойдет об организации рынка углеродных единиц и системы МОВ как ключевого фактора его эффективности.

---

<sup>50</sup> [COWI et al., 2021b, p. 39].

# III. Европейский опыт организации углеродного рынка

## 1. Об углеродных рынках

Реализация углеродных единиц на рынке является основным (хотя, безусловно, не единственным) источником финансирования многих климатических проектов в лесном секторе и сельском хозяйстве. Углеродные единицы в этом случае эмитирует реестр после проведения верификации. Некоторые формы углеродных единиц могут обращаться на вторичном рынке (обращаемые углеродные единицы), другие же реализуются лишь единожды (сертификаты сокращения выбросов)<sup>51</sup>.

Углеродные рынки бывают двух видов: так называемые «обязательные» (*compliance markets* или *regulatory markets*) и добровольные (*voluntary markets*). Обязательные рынки формируются в рамках законодательно установленных программ сокращения выбросов. Организации, на которые распространяются обязательства по сокращению, могут приобрести на таких рынках недостающие единицы (*carbon allowances*, или «углеродные квоты»), если им не удалось достичь установленных показателей сокращения, у организаций, уровень выбросов которых оказался ниже установленного лимита. Наличие спроса на обязательном рынке — а значит, и формирование привлекательной для продавцов цены — обеспечивается законодательными требованиями по сокращению выбросов, которые обычно предусматривают постепенное снижение установленного потолка.

---

<sup>51</sup> [COWI et al., 2021b, p. 37–38].



На добровольных рынках обращаются углеродные единицы (*carbon offsets*), сгенерированные в рамках добровольно реализуемых климатических проектов. На таких рынках потенциально может присутствовать большее число участников, в том числе представляющих различные регионы мира, поскольку диапазон участников не ограничен правилами той или иной программы сокращения выбросов. В то же время отсутствие единых стандартов в отношении углеродных единиц повышает риски для покупателя. В мире на сегодня действует значительное число частных компаний, сертифицирующих углеродные единицы по своим стандартам (например, *Verified Carbon Standard* или *Gold Standard*), но разнообразие таких стандартов усложняет унификацию углеродных единиц как биржевого товара.

Поскольку спрос на добровольных рынках не имеет дополнительной поддержки в виде требований по сокращению выбросов, цена углеродных единиц на них обычно ниже цены квот на обязательных рынках. Так, по некоторым оценкам, в 2019 г. на добровольных рынках средняя цена на углеродные единицы, сгенерированные в рамках лесоклиматических проектов и проектов в сфере землепользования, составила 4,3 долл. за 1 т CO<sub>2</sub>-эквивалента. На обязательных же рынках цена за углеродные единицы, сгенерированные в рамках проектов, проанализированных для доклада Европейской комиссии, находилась в диапазоне от 6 до 13 долл.<sup>52</sup>

Российский агропромышленный комплекс проявляет интерес к появлению организованного международного рынка углеродных единиц. В середине февраля 2022 г. генеральный директор «Фосагро», крупнейшего в Европе производителя фосфорных удобрений, и глава Совета предпринимателей Россия — Бразилия А. Гурьев высказал идею об учреждении совместно с Бразилией карбоновой биржи, которая, по его мнению, создаст конкурентное преимущество для компаний двух стран. Гурьев отметил, что «это касается и [предприятий] сельского хозяйства, где нам важно объединить усилия по разработке технологий накопления углерода в почве»<sup>53</sup>.

---

<sup>52</sup> [COWI et al., 2021b, p. 88].

<sup>53</sup> [Эксперт, 2022].

### III. Европейский опыт организации углеродного рынка

Рассмотрим для примера опыт организации самого первого рынка торговли углеродными единицами — Системы торговли выбросами в ЕС (СТВ ЕС) (*Emissions Trading System, EU ETS*), которая была запущена в 2005 г. СТВ ЕС работает по схеме *cap-and-trade*, предусматривающей установление потолка выбросов и возможность приобретения недостающих «квот» (*emission allowances*) на рынке у тех, кто, наоборот, не исчерпал свой лимит. СТВ ЕС не охватывает ни лесные, ни сельхозпроекты, но интересна с точки зрения механики работы углеродного рынка.

## 2. Общая информация о СТВ ЕС

По мнению Европейской комиссии, «СТВ ЕС — краеугольный камень политики ЕС по борьбе с изменением климата и ее ключевой инструмент экономически эффективного снижения выбросов парниковых газов. Это первый в мире и крупнейший углеродный рынок»<sup>54</sup>. К 2013 г. его участниками стали свыше 11 тыс. предприятий с установленной тепловой мощностью свыше 20 МВт из 31 страны (27 стран — членов ЕС, а также Исландия, Норвегия, Лихтенштейн и Великобритания). С 2020 г. СТВ ЕС увязана с углеродным рынком Швейцарии.

Изначальная цель — к 2020 г. сократить выбросы на 20% по сравнению с уровнем 1990 г. — была достигнута на шесть лет раньше. Согласно отчету Еврокомиссии, опубликованному в октябре 2021 г., с момента внедрения СТВ ЕС эмиссия парниковых газов в охваченных секторах сократилась на 43%, а по сравнению с уровнем 1990 г. — на 31%<sup>55</sup>.

По состоянию на начало 2022 г. были завершены 3 фазы реализации программы.

Первая фаза (2005–2007 гг.), получившая название «Накопление опыта» (*Learning by Doing*), начала работу после пилотного запуска в двух странах — Великобритании и Дании. Она была рассчитана на сокращение выбросов углекислого газа крупнейшими

---

<sup>54</sup> [European Commission, 2022].

<sup>55</sup> [European Commission, 2021с, p. 3].

предприятиями с установленной тепловой мощностью свыше 20 МВт, на которые приходилась почти половина выбросов в ЕС. Участники схемы получили право торговать углеродными единицами между собой и с третьими странами через так называемый «механизм чистого развития» (*Clean Development Mechanism*) Киотского протокола. Углеродные единицы распределялись между предприятиями на безвозмездной основе<sup>56</sup> (что привело к незапланированной прибыли предприятий). По оценкам исследователей, за первые два года реализации первой фазы удалось достичь сокращения выбросов на 2–5%, или на 50–100 Мт CO<sub>2</sub> в год<sup>57</sup>.

Вторая фаза (2008–2012 гг.) ознаменовала собой начало перехода от бесплатного распределения квот к аукциону. К 2013 г. около 40% квот распределялось через аукцион<sup>58</sup>.

Третья фаза (2013–2020 гг.) предусматривала переход от бесплатного распределения квот к аукциону более чем половины квот, гармонизацию правил распределения и включение в перечень парниковых газов закиси азота и перфторуглеродов. Бесплатное распределение квот преимущественно сохранилось за предприятиями, имеющими высокий потенциал роста, а также ведущими взаимодействие со странами с менее жестким регулированием выбросов<sup>59</sup>. Часть квот подлежит бесплатному распределению из резерва в рамках программы поддержки инноваций.

В 2015 г. был создан так называемый «резерв стабильности рынка» (*Market Stability Reserve*), который предусматривает корректировку ежегодного размера квот на эмиссии с учетом количества квот в предыдущем году<sup>60</sup>. В резерв направляются нераспределенные квоты прошлых лет и определенная доля от общего объема квот<sup>61</sup>. Резервные квоты могут выводиться на рынок в случае снижения объема торгуемых единиц ниже 400 млн. При этом начиная

---

<sup>56</sup> Позиция Европарламента заключалась в том, что уже на этом первом этапе не менее 15% квот должны были распределяться через аукцион. Но Еврокомиссия отклонила это предложение. (См.: [Кавешников, 2017, с. 64]).

<sup>57</sup> [Grubb et al., 2009, p. 11].

<sup>58</sup> [European Commission, 2021d].

<sup>59</sup> [European Commission, 2021c, p. 10].

<sup>60</sup> [European Union, 2015].

<sup>61</sup> Изначально 12%, затем — 24%, после 2023 г. — снова 12%.

### III. Европейский опыт организации углеродного рынка

с 2023 г. определенное количество квот в резерве будет погашаться. Нормативы, определяемые в рамках регламентов резервного фонда, косвенно задают минимальный объем единиц в обращении, при котором осуществляется зачисление квот в резерв: так, при объеме 833 млн единиц зачислению в резерв подлежат минимум 200 млн единиц (т.е. 24%).

Четвертая фаза (2021–2030 гг.) предусматривает дальнейшее сокращение выбросов к 2030 г. до 55% от уровня 1990 г. с ежегодным темпом сокращения в 2,2%<sup>62</sup> (а на отрезке 2024–2030 гг. — 4,2% в год), в то время как с 2013 по 2020 г. темпы сокращения составляли 1,74% в год (рис. 1). Квоты при этом распределяются на основе критериев, связанных с результатами деятельности 10% наиболее эффективных предприятий в ЕС<sup>63</sup>.

После выхода из ЕС Великобритания организовала собственную СТВ (*UK ETS*). Первый этап ее работы стартовал в январе 2021 г. и продлится до 2025 г. По состоянию на 2021 г. под действие системы подпадало более 10 400 промышленных предприятий и около 350 европейских авиаперевозчиков, на которые приходится около 36% общего объема выбросов парниковых газов в странах ЕС.

При разработке СТВ ЕС предметом обсуждения между Еврокомиссией, Советом ЕС и Европарламентом были следующие ключевые вопросы:

- порядок определения потолка квот и критерии выработки планов их распределения (изначально отдано на усмотрение национальным правительствам);
- порядок распределения квот (на первом этапе — бесплатный, далее — постепенный переход к аукционам);
- отрасли, на которые распространяется действие системы (постепенно в систему включались новые отрасли промышленности; в частности, наибольшие прения касались включения химической, алюминиевой промышленности, транспорта<sup>64</sup>);

---

<sup>62</sup> [European Commission, 2021с, р. 3].

<sup>63</sup> *Ibid.*, р. 12.

<sup>64</sup> [Кавешников, 2017, с. 65].

## Карбоновое земледелие: условия для прорыва



Рис. 1. Сокращение потолка выбросов (линейные коэффициенты)

Источник: [European Commission, 2021c, p. 9].

- диапазон охватываемых системой парниковых газов, помимо CO<sub>2</sub>;
- возможность исключения отдельных предприятий и секторов из системы (компромиссное решение на первом этапе заключалось в праве стран исключать отдельные предприятия, но не секторы).

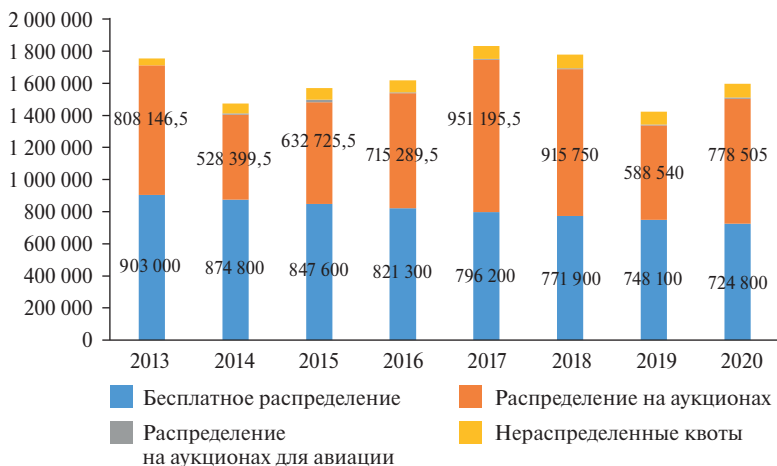
## 3. Механизмы работы СТВ ЕС

Торговля углеродными единицами осуществляется на биржах. Следует различать первичное размещение квот и торговлю квотами на вторичном рынке.

Первичное размещение (за исключением бесплатного распределения) происходит методом аукциона, который в течение третьей и четвертой фаз осуществлялся на двух площадках: European Energy Exchange (EEX) и ICE Futures Europe. На рис. 2 приводятся данные об объемах размещения на аукционах и объемах бесплатного распределения квот. Согласно отчету Еврокомиссии, доход стран от продажи квот на аукционах в 2020 г. составил 19 млрд долл.<sup>65</sup> При этом страны ЕС обязаны направлять не ме-

<sup>65</sup> [European Commission, 2021c, p. 14].

### III. Европейский опыт организации углеродного рынка



**Рис. 2.** Распределение квот на выбросы в странах ЕС, а также в Исландии, Лихтенштейне и Норвегии, тыс. единиц

Источник: Составлено авторами на основе [European Commission, 2021c, p. 11–13].

нее 50% выручки на цели «солидарности и роста», а 100% выручки от квот, распределяемых среди авиаперевозчиков, — на цели, связанные с климатом и энергетикой. На практике страны ЕС направляют на эти цели даже больший процент выручки. Значительные объемы средств перераспределяются через Инновационный фонд (на период 2020–2030 гг. в фонде зарезервировано не менее 20 млрд долл.), Фонд модернизации (около 25 млрд долл.).

Торговля квотами осуществляется по принципу торговли на фондовом рынке: любой участник может покупать или продавать углеродные единицы через брокера. Все сделки регистрируются в едином электронном реестре — Реестре торговли выбросами (*Emissions Trading Registry*) и фиксируются в журнале транзакций (*EU Transaction Log*) в круглосуточном режиме<sup>66</sup>. Система также фиксирует общий объем выбросов предприятий-участников. По итогам каждого года на основе данных реестра формируется отчет об общем

<sup>66</sup> [European Commission, 2021c, p. 5].

объеме выданных, распределенных и торгуемых квот. Еще с 2005 г. все страны — члены ЕС обязаны были внедрить стандартизированные национальные электронные реестры, в то время как остальные страны — участники Киотского соглашения должны были внедрить национальные реестры с 2008 г. Все национальные реестры передают данные в международный журнал транзакций (*ITL*) в рамках РКИК ООН. ITL также связан с журналом транзакций ЕС.

Основными финансовыми инструментами торговли углеродными единицами являются фьючерсы и опционы (табл. 2), хотя с 2018 г. к финансовым инструментам отнесен и спот-контракт на единицу выбросов<sup>67</sup>. Все способы торговли эмиссионными квотами имеют единое регулирование. Согласно данным Европейского управления по ценным бумагам и рынкам, общий оборот квот в 2020 г. составил 687 млрд евро, из которых львиная доля приходится на деривативы, функция которых — хеджирование рисков участников сделок<sup>68</sup>. Ключевыми участниками торгов являются торговые операторы (72%), инвестиционные компании и кредитные учреждения (18%).

Ключевая площадка для вторичных торгов — ICE Futures Europe.

Европейская климатическая биржа (ЕКБ) изначально создавалась как филиал Чикагской климатической биржи. В 2013 г. через нее проходило свыше 90% сделок по CER и свыше 65% сделок по EUA<sup>69</sup>. ЕКБ занималась разработкой финансовых продуктов и маркетингом для ECX Carbon Financial Instruments, которая вошла в листинг ICE Futures Europe. В 2010 г. биржу выкупила Intercontinental Exchange.

Схема реализации поставки по фьючерсам на EUA и CER, которые торгуются на электронной торговой площадке WebICE, представлена на рис. 3. Углеродные единицы учитываются в нематериальной форме в национальных реестрах, связанных с единым реестром ЕС. После совершения сделки с поставкой соответствующие записи в реестрах изменяются.

---

<sup>67</sup> [European Commission, 2021c, p. 32].

<sup>68</sup> Ibid., p. 33.

<sup>69</sup> [Mizrach, Otsubo, 2014].

### III. Европейский опыт организации углеродного рынка

**Таблица 2.** Европейские биржи и электронные торговые площадки (ЭТП), на которых осуществляется торговля углеводородными единицами и связанными с ними финансовыми инструментами в рамках СТВ ЕС

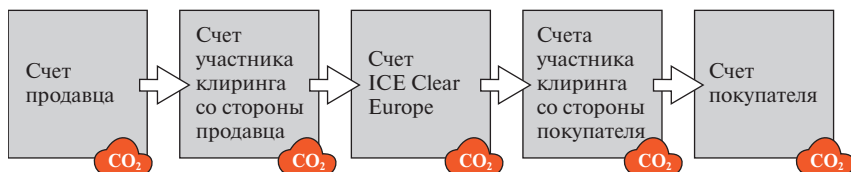
	Владелец биржи	Торговая единица	Виды торговли, финансовые инструменты	Клиринг
<b>Европейская климатическая биржа (European Climate Exchange, ECX)</b>	Climate change plc* (до 2010), далее — Intercontinental Exchange	EUA (квоты ЕС) CER (сертифицированное сокращение выбросов)		ICE Clear Europe
<b>ЭТП WebICE</b>	ICE Futures Europe	EUA (квоты ЕС) CER 1 лот = 1000 т CO <sub>2</sub>	Аукционы на первичное размещение квот для СК, фьючерсы и опционы (поставочные и беспоставочные). Сроки: 1 день, 4 мес., 12 мес.	ICE Clear Europe
<b>NASDAQ OMX Commodities Europe</b>	NASDAQ OMX Oslo ASA, единый рынок энергетики для Норвегии, Дании, Швеции и Финляндии	EUA	Фьючерсы на EUA сроком от 1 дня до 10 лет	NASDAQ Clearing
<b>European Energy Exchange (EEX)</b>	Единая аукционная площадка для стран — членов ЕС, а также Исландии, Лихтенштейна и Норвегии	EUA, EUAA	Аукционы на первичное размещение квот, фьючерсы и опционы	

\* Компания входит в листинг Лондонской фондовой биржи. В группу компаний входит также Chicago Climate Exchange.

Комиссии по сделкам составляют фиксированную величину за 1 лот и варьируются в зависимости от статуса участника (для членов ICE Futures Europe размер комиссии приведен ниже). Сто-



## Карбоновое земледелие: условия для прорыва



**Рис. 3.** Схема поставки углеродных единиц по фьючерсным контрактам

*Источник:* Составлено авторами на основе данных [ICE Futures Europe, 2010, p. 8].

имость годовой подписки для членства в 2010 г. составляла от 8 500 до 12 500 евро<sup>70</sup>. Клиринговый центр ICE Clear Europe выступает в роли гаранта по всем сделкам для членов, вступая в права продавца для каждого покупателя и, наоборот, вступая в права покупателя для продавца.

Доступ к платформе осуществляется через авторизированный доступ к системе WebICE либо через независимых поставщиков программного обеспечения, имеющих подтверждение от ICE Futures Europe (к числу таких относятся, например, Bloomberg, Reuters, CQG, E-Signal). Имеется перечень технических требований к персональному компьютеру для получения доступа к системе и нормальному ее функционированию. Система дает доступ к котировкам в онлайн-режиме. Информация о ценах на углеродные единицы также транслируется в Point Carbon, Platts, Argus, Dow Jones.

NASDAQ OMX Commodities Europe — вторая по величине углеродная биржа в ЕС. Изначально в 1990-х годах она создавалась как единый рынок торговли энергетическими товарами в Норвегии, позднее к рынку присоединились Швеция, Финляндия и Дания. Торговля квотами на этой бирже началась раньше, чем на других, — в 2005 г. Инструменты биржи позволяют хеджировать ценовые риски по эмиссионным квотам. На бирже торгуются дневные фьючерсы, квартальные фьючерсы на период до 2027 г., а также опционы для продавцов. Размер одного лота — 1000 EUA. Размещение заявок происходит через торговую платформу Genium

<sup>70</sup> [ICE Futures Europe, 2010, p. 8].

### III. Европейский опыт организации углеродного рынка



**Рис. 4.** Цены сделок с эмиссионными квотами, январь 2013 г. — июнь 2021 г.

INET Workstation либо через авторизованных поставщиков программного обеспечения. Все сделки проходят клиринг через единого клирингового оператора — NASDAQ Clearing.

Динамика цен на эмиссионные квоты в СТВ ЕС показана на рис. 4. Повышение цен на квоты началось в 2018 г., а с декабря 2020 г. наблюдается значительный их рост. Увеличивается стоимость как самих квот, так и фьючерсов на них. В мае 2021 г. цена за 1 единицу выбросов (1 т CO<sub>2</sub>-эквивалента) превысила 50 евро.

## IV. Китайский опыт организации углеродного рынка<sup>71</sup>

В сентябре 2020 г. на 75-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН председатель Китайской Народной Республики Си Цзиньпин впервые объявил о цели Китая к 2030 г. выйти на пик выбросов CO<sub>2</sub>, а к 2060 г. — достичь углеродной нейтральности. При этом создание карбоновых бирж в Китае началось намного раньше — в 2011 г. К 2016 г. девять пилотных проектов функционировали в городах Шэньчжэнь, Шанхай, Пекин, Тяньцзинь и Чунцин, а также в провинциях Гуандун, Хубэй, Сычуань и Фуцзянь.

### 1. Нормативно-правовая база

В декабре 2020 г. Министерство экологии и окружающей среды опубликовало «Пилотные методы регулирования торговли правами на углеродные выбросы» (далее — «Пилотные методы»), в которых, среди прочего, прописаны механизм получения доступа на рынок, правила регистрации, способы распределения квот, механизм зачета квот, применения штрафов. Тогда же был разработан «План расчета общего объема и распределения квот для национальной торговли правами на углеродные выбросы на 2019–2020 гг. для отрасли электроэнергетики». В первый период исполнения обязательств (с 01.01.2021 по 31.12.2021) возможность выхода на углеродный рынок получили 2225 предприятий электроэнергетики.

В марте 2021 г. на общественное обсуждение был вынесен проект «Временных положений о регулировании торговли правами на углеродные выбросы» (далее — «Временные положения»). «Вре-

---

<sup>71</sup> [Sichuan Zhongding Huizhi Social Economy Consulting Co., Ltd, 2022].

менные положения» будут утверждаться Государственным советом КНР (высший государственный исполнительный орган), что делает их нормативным документом более высокого уровня по сравнению с «Пилотными методами», которые принимаются на уровне ведомства — Министерства экологии и окружающей среды. После вступления в силу «Временные положения» будут регулировать процесс становления и функционирования национального углеродного рынка.

Деятельность на китайском рынке торговли углеродными квотами подчиняется «Правилам регистрации», «Правилам торговли» и «Правилам взаиморасчетов», опубликованным Министерством экологии и окружающей среды в мае 2021 г. Все эти правила приняты в развитие и в дополнение к «Пилотным методам регулирования торговли правами на углеродные выбросы».

## 2. Допущенные к торгам активы

Как и европейская Система торговли выбросами, китайский углеродный рынок работает по схеме *cap-and-trade*: участники рынка торгуют «излишками» квот на углеродные выбросы, распределенных между ключевыми предприятиями-эмитентами. Лотом является квота на 1 т CO<sub>2</sub>-эквивалента. По согласованию с Госсоветом КНР к торгам могут быть допущены и иные активы. Торговля правами на углеродные выбросы осуществляется через систему национальной торговли и предполагает передачу по соглашению, односторонний аукцион и иные формы торговли, соответствующие государственным требованиям.

Согласно Временным положениям, квоты на углеродные выбросы выдаются Министерством экологии и окружающей среды КНР: ведомство разрабатывает план определения общего объема квот и их распределения в соответствии с государственными требованиями контроля выбросов парниковых газов и с учетом экономического роста, изменений в производственной структуре, оптимизации структуры энергетики, межведомственного контроля выбросов загрязняющих веществ и т.д. На основе данного плана провинциальные департаменты экологии и окружающей среды

## Карбоновое земледелие: условия для прорыва

распределяют установленный объем квот между ключевыми предприятиями — эмитентами отрасли или региона. Распределение квот может осуществляться на безвозмездной (бесплатной) и возмездной основе. На данном — начальном — этапе работы биржи квоты распределяются бесплатно. Возмездное распределение будет вводиться по указанию государства, доля возмездно распределяемых квот будет постепенно увеличиваться.

### 3. Рынок CCER

CCER (*China Certified Emissions Reduction*) — это сертифицированные единицы добровольного сокращения выбросов парниковых газов, генерируемые, например, в ходе реализации китайских проектов по переходу на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), лесных климатических проектов, проектов полезного использования метана и учтенные в системе регистрации для торговли добровольными сокращениями. Торговля единицами CCER осуществляется дополнительно к торговле правами на углеродные выбросы. В вышеупомянутых нормативных документах не уточняется, могут ли CCER быть допущены к торгам на китайском национальном рынке торговли правами на углеродные выбросы. Однако в «Методах регулирования» и «Временных положениях» признается, что ключевые предприятия-эмитенты могут покупать сертифицированные и учтенные единицы сокращения выбросов для компенсации выбросов сверх выделенных квот при итоговом взаимозачете<sup>72</sup>. Торговля единицами CCER сейчас ведется только на Сычуаньской бирже.

В соответствии с «Пилотными методами», 1 CCER-единица компенсирует 1 т CO<sub>2</sub>-эквивалента выбросов, однако таким образом при итоговом взаимозачете можно компенсировать не более 5% объема квот. Для компенсации подходят CCER, полученные от

---

<sup>72</sup> Итоговый взаимозачет — ежегодная подача отчетности о фактических выбросах. Фактические данные сравниваются с имеющимся у предприятия объемом квот, после чего оно обязано компенсировать/выкупить недостающий объем либо продать/перенести на следующий период излишний.

#### IV. Китайский опыт организации углеродного рынка

проектов по переходу на ВИЭ, проектов поглощения углерода, полезного использования метана и других проектов по сокращению выбросов, не подлежащих квотированию в рамках национальной углеродной биржи.

Торговля единицами CCER была официально запущена в январе 2015 г., однако в марте 2017 г. Комитет по развитию и реформам Китая временно приостановил регистрацию CCER-проектов и генерируемых ими единиц. В настоящее время Министерство экологии и окружающей среды разрабатывает финальный план торговли такими единицами, после чего регистрация будет возобновлена. До прекращения регистрации торговля CCER велась на 9 платформах (по состоянию на декабрь 2016 г.). В мае 2021 г. Министерство экологии и окружающей среды совместно с семью другими ведомствами выпустило Руководящие принципы защиты окружающей среды в зонах свободной торговли, где поддержало создание в Пекинской пилотной зоне свободной торговли национального Центра углеродной торговли, в том числе единицами CCER, а также рекомендовало всем пилотным зонам свободной торговли повысить интенсивность поддержки проектов добровольного сокращения выбросов. На 31 декабря 2020 г. в Китае было продано CCER-единиц на 268 млн т CO<sub>2</sub>-эквивалента.

#### 4. Порядок итогового взаимозачета

Если фактический объем выбросов ключевого предприятия-эмитента превысил выделенный ему объем квот, при итоговом взаимозачете можно выбрать один из следующих вариантов:

- выкупить неиспользованные квоты других предприятий-эмитентов через национальный углеродный рынок;
- использовать CCER-единицы для компенсации (в рамках установленных лимитов);
- понести юридическую ответственность за превышение (например, штраф, сокращение квот на следующий год).

Если квоты на текущий год были, наоборот, использованы не в полном объеме, предприятие-эмитент может продать их на на-

циональном углеродном рынке либо перенести для использования в следующем году.

### 5. Субъекты рынка

В настоящий момент китайский рынок торговли правами на углеродные выбросы открыт не для всех: к участию допускаются только ключевые предприятия-эмитенты, а также организации и физические лица, соответствующие установленным государственным требованиям.

Критерии для включения в реестр ключевых предприятий — эмитентов парниковых газов разрабатываются ведомством по делам экологии (в настоящее время — Министерство экологии и окружающей среды) в соответствии с целями контроля выбросов. Руководствуясь данными критериями, ведомства провинций разрабатывают собственные списки таких предприятий по отраслям или регионам и передают на согласование в министерство. Государство включает предприятие-эмитент в национальный реестр, выделяет ему квоты и разрешает участвовать в торговле ими, если:

- предприятие относится к отрасли, имеющей доступ к национальному рынку торговли правами на углеродные выбросы;
- объем годовых выбросов предприятия не менее 26 000 т CO<sub>2</sub>-эквивалента.

В настоящий момент доступ к национальному рынку торговли правами на выбросы имеют (и, соответственно, в национальный реестр ключевых предприятий-эмитентов могут быть включены) только предприятия электроэнергетики. Предполагается, однако, что в ходе 14-й пятилетки (2021–2025 гг.) этот список постепенно пополнится компаниями из семи самых энергозатратных отраслей (нефтехимия, химия, строительные материалы, сталелитейное производство, цветные металлы, целлюлозно-бумажная промышленность, гражданская авиация).

Критерии допуска иных организаций и физических лиц к торговле правами на углеродные выбросы еще не выработаны. Допустимой для них является торговля CCER-единицами.

## 6. Существующие проблемы и вызовы

- Неточность данных, низкая эффективность проверки объема выбросов.
- Неточности в распределении квот, что приводит к ярко выраженному недостатку квот у одних предприятий и избытку у других.
- Незрелость рынка, отсутствие достаточного законодательного регулирования.
- Недостаток независимых институтов мониторинга и сертификации выбросов.



## **V. Отдельные вопросы формирования системы МОВ для проектов в сфере карбонового земледелия**

Необходимым условием функционирования углеродного рынка является наличие системы мониторинга, отчетности и верификации, обеспечивающей мониторинг данных о динамике выбросов парниковых газов участников климатического проекта, предоставление соответствующей отчетности и подтверждение достоверности (т.е. верификацию) данных. Система МОВ является одним из ключевых элементов любого климатического проекта, в том числе проектов карбонового земледелия, поскольку обеспечивает документальное подтверждение его результатов — объемов сокращения выбросов или поглощения парниковых газов.

В элемент «мониторинг» входят как сбор данных о выбросах и поглощениях, так и выбор методов расчета. Под отчетностью понимаются требования к фиксации и документальному отражению результатов мониторинга. На этапе «верификация» происходит подтверждение достоверности и точности представленных в отчетах данных<sup>73</sup>.

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2015 г. № 716-р «Об утверждении Концепции формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации» закладывает стратегические основы развития системы МОВ на уровне отдельных организаций и предусматривает в этой связи форми-

---

<sup>73</sup> [COWI et al., 2021b, p. 79].

## V. Отдельные вопросы формирования системы МОВ

рование нормативно-правовой, методической и институциональной базы<sup>74</sup>.

Распоряжение, среди прочего, опирается<sup>75</sup> на принципы, сформулированные в Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) в отношении национальных докладов об антропогенных источниках и поглотителях парниковых газов, которые представляются в Секретариат РКИК<sup>76</sup>, а также на аналогичные принципы, отраженные в руководстве по валидации и верификации данных по проектам в рамках Механизма чистого развития Киотского протокола<sup>77</sup> (табл. 3<sup>78</sup>).

Система МОВ гарантирует покупателю «качество» приобретаемых им углеродных единиц, т.е. подтверждает тот факт, что сокращение выбросов или поглощение парниковых газов вследствие реализации соответствующего климатического проекта действительно произошло и что достигнутый результат является:

- добавочным (*additional*), т.е. не был бы достигнут без реализации проекта;
- измеримым (*measurable*);
- длящимся (*permanent*), т.е. сохранится в течение длительного срока (обычно говорят о 50 или 100 годах);

а также не приводит:

- к «утечке углерода» (*carbon leakage*), т.е. к вытеснению выбросов на другую территорию;
- к двойному учету сокращений и (или) поглощений<sup>79</sup>.

Чтобы не отпугнуть будущих участников климатических проектов в сельском хозяйстве и обеспечить их эффективную реализацию, важно настроить систему МОВ так, чтобы она обеспечивала достаточную точность измерения результатов климатического проекта, но при этом не влекла избыточных финансовых и временных затрат для сельхозпроизводителя и администратора системы<sup>80</sup>.

---

<sup>74</sup> [Правительство РФ, 2015, раздел III]. В указанном Распоряжении Правительства вместо термина «верификация» используется термин «проверка».

<sup>75</sup> Там же.

<sup>76</sup> [ООН, 2006].

<sup>77</sup> [CDM, 2015].

<sup>78</sup> [Wilkes et al., 2011, p. 19].

<sup>79</sup> [COWI et al., 2021b, p. 79].

<sup>80</sup> Ibid.

**Таблица 3.** Критерии обеспечения доверия к информации систем МОВ в рамках РКИК

Данные национальных докладов		Данные проектов CDM	
Показатель	Краткая характеристика	Показатель	Краткая характеристика
<b>Транспарентность</b>	Представлены четкие разъяснения в отношении допущений и методологий, с тем чтобы обеспечить их адекватную оценку	<b>Транспарентность</b>	Формат представления данных позволяет осуществить их независимую валидацию и верификацию
<b>Согласованность</b>	Используются единая методология для данных за разные годы и единые наборы данных для поглотителей и источников	<b>Согласованность</b>	Используется единая методология в отношении данных за разные периоды и в отношении аналогичных проектов независимо от региона их реализации
<b>Сопоставимость</b>	Отчитывающиеся стороны используют одни и те же методологии	<b>Консерватизм</b>	Применяемые допущения исключают возможность преувеличения сокращения выбросов
<b>Полнота</b>	Учитываются все поглотители и источники	<b>Полнота</b>	Охвачены или исключены по консервативным соображениям все поглотители и источники парниковых газов
<b>Точность</b>	Отсутствует систематическое занижение или завышение данных, неопределенность снижена до минимально возможного уровня	<b>Точность</b>	Вероятность систематического занижения или завышения данных, а также неопределенность снижены до минимально возможного уровня
		<b>Актуальность</b>	Представлена вся информация, необходимая для оценки сокращения выбросов

Для мониторинга потоков парниковых газов могут использоваться как данные инструментальных измерений, так и математические модели. Измерительное оборудование позволяет оценить динамику поглощений и выбросов парниковых газов через изменение запасов углерода в почве или биомассе растений. Данные

измерений являются более точными, чем данные моделей, но их получение сопряжено со значительными затратами<sup>81</sup>.

Фиксирование потоков парниковых газов в сельском хозяйстве сопряжено с отдельными трудностями, связанными с их распределенным характером (выбросы не проходят через одну или несколько труб, на которые можно было бы установить измерительное оборудование) и неоднородностью по регионам мира (на интенсивность и объем выбросов даже на полях с одними и теми же культурами влияет множество факторов, в том числе погодные условия, тип почв и т.д.). Кроме того, как уже упоминалось во введении, те или иные меры могут иметь разнонаправленный характер, т.е. приводить к сокращению выбросов одного газа, но увеличивать выбросы другого. Такой эффект может наблюдаться, например, при обводнении торфяников (увеличение объемов почвенного углерода, но и увеличение выбросов метана), использовании азотных удобрений (увеличение поглощения углерода биомассой культур, но увеличение выбросов закиси азота) и в других случаях<sup>82</sup>. Поэтому понятно, что даже прямые инструментальные измерения не могут обеспечить стопроцентной точности данных: ошибки могут возникать, например, при экстраполяции результатов измерений на площади, где непосредственные измерения не проводились<sup>83</sup>.

Если фиксирование потоков парниковых газов инструментальными средствами невозможно или затраты на него неоправданны, объемы выбросов и поглощений оцениваются на основе косвенных данных (прокси-показателей — например, поголовья скота, используемых удобрений и т.д.), которые с помощью математических моделей, построенных исходя из проведенных ранее научных исследований, преобразуются в объемы выбросов<sup>84</sup>. Результат, который позволяют получить модели, заведомо еще менее точен, чем данные прямых измерений, поскольку модели опираются на усредненные величины, необязательно отражающие специфиче-

---

<sup>81</sup> [COWI et al., 2021b, p. 80–81].

<sup>82</sup> Ibid., p. 79–80.

<sup>83</sup> Ibid., p. 83.

<sup>84</sup> Ibid., p. 81.

ские характеристики той или иной территории. Точность модели может повышаться за счет уточнения характеристик местности и проведения дополнительных исследований на месте. Однако эти мероприятия приведут к росту стоимости мониторинга, но именно высокие затраты на инструментальные измерения являются ключевой причиной применения моделей вместо непосредственных измерений<sup>85</sup>.

Комбинирование двух методов (верификация результатов моделирования на основе данных, полученных в ходе измерений ограниченного масштаба) позволяет найти баланс между точностью данных и затратами на их получение. При этом необходимо учитывать тот факт, что для продажи углеродных единиц потребуется подтвердить их качество, т.е. действительный, добавочный и делящийся характер достигнутого результата (поглощения углерода или сокращения выбросов). При этом выбранный метод мониторинга должен характеризоваться робастностью (т.е. нечувствительностью к отдельным ошибкам в данных), которая является его важнейшей характеристикой, например, с точки зрения верификации полученных данных. Так, в рамках стандарта *Gold Standard* робастность методик мониторинга подтверждается научным комитетом, рецензентами и посредством публичных консультаций<sup>86</sup>.

В контексте ведения национальных кадастров антропогенных выбросов и поглощений (о которых так называемые «стороны, включенные в Приложение I» РКИК ООН, в том числе Россия, должны регулярно отчитываться) МГЭИК выделяет три «уровня» подходов к численной оценке потоков парниковых газов. С каждым уровнем увеличивается технологическая сложность измерений<sup>87</sup>, но и, соответственно, их точность<sup>88</sup> (табл. 4<sup>89</sup>).

Общие принципы и требования, воплощенные в руководстве МГЭИК, применимы и к данным по выбросам и поглощениям на уровне отдельных проектов. Хотя само руководство предназначено

---

<sup>85</sup> [COWI et al., 2021b, p. 83].

<sup>86</sup> Ibid., p. 81–82.

<sup>87</sup> [МГЭИК, 2006, с. 1.7].

<sup>88</sup> [COWI et al., 2021b, p. 80].

<sup>89</sup> [Basak, 2016, p. 9].

Таблица 4. Уровни подходов к ведению национальных кадастров

Уровень (Tier)	Описание	Варианты применения
1	Базовый метод. Использование «коэффициентов МГЭИК по умолчанию» ( <i>IPCC default factors</i> ), если отсутствуют прошедшие рецензирование исследования по соответствующей стране	Исследования потенциала мероприятий на уровне отраслей или проектов
2	Промежуточный метод. Использование данных исследований (моделей или оценок), отражающих страновую специфику	Стандарт отчетности по национальным кадастрам парниковых газов
3	Наиболее сложный метод, предполагающий использование валидированных моделей и (или) прямых измерений динамики запасов мониторинговыми сетями	Выполнение требований в рамках «Механизма чистого развития» (CDM) Киотского протокола и стандарта Verra ( <i>Verified Carbon Standard</i> )

для тех, кто ведет национальный кадастр, предоставляет для него данные и модели, и не может быть непосредственно применено в рамках проектной деятельности, используемые в этом процессе общенациональные данные, методики, модели и коэффициенты выбросов могут стать отправной точкой для получения данных по отдельным проектам. Это особенно касается небольших проектов, у которых нет достаточных ресурсов для разработки собственных методик, данных и инструментов моделирования<sup>90</sup>.

По этой причине важнейшую роль в формировании индустрии карбонового земледелия в России с точки зрения ее научного наполнения сыграет проект Минобрнауки России по организации карбоновых полигонов, задача которых — провести измерения потоков парниковых газов во всем разнообразии экосистем и климатических регионов России (рис. 5).

Например, сеть таких исследовательских площадок в Западной Сибири (Западно-Сибирский меридиональный мегатрансект) «предоставляет возможность получать уникальные данные об окружающей среде из различных климатических зон России — от лесостепи на юге до тундры на севере. Этот подход позволяет ко-

<sup>90</sup> [COWI et al., 2021b, p. 80, 87].



## V. Отдельные вопросы формирования системы МОВ

личественно оценить взаимодействие различных факторов, влияющих на климат, в макрорегиональном масштабе»<sup>91</sup> (рис. 6).

В этом контексте в работе [Smith et al., 2020] предлагается общая схема глобальной платформы МОВ для почв (рис. 7), центральное место в ней занимают как раз карбоновые полигоны (*benchmark sites*), которые могут располагаться как на уже используемых экспериментальных площадках, так и на других площадках с хорошо описанными характеристиками почв<sup>92</sup>.

*«Экспериментальные площадки предпочтительно располагать на землях с тем видом почвенно-растительного покрова, того вида землепользования и типа почв, которые характерны для соответствующей местности. На таких площадках можно протестировать влияние тех или иных мероприятий на накопление органического углерода почв со случайным расположением делянок. При этом динамику накопления углерода можно измерять один раз в несколько лет, а более активные процессы (например, выбросы парниковых газов) — с большей регулярностью ... На этих же площадках можно тестировать новые спектральные методы измерения органического углерода почв и оценить их эффективность относительно традиционных методов прямого замера»<sup>93</sup>.*

Авторы отмечают, что невозможность проведения замеров на каждом участке земли делает неизбежным использование моделей. Если получаемые данные позволяют говорить о надежности моделей, их можно использовать как для расчета коэффициентов выбросов парниковых газов или накопления углерода по методике МГЭИК 2-го уровня (такие коэффициенты будут отражать региональные особенности и условия), так и для оценки выбросов и динамики почвенного углерода по методике МГЭИК 3-го уровня с помощью накопленных пространственных данных о характеристиках и покрове почв, режиме землепользования и данных о климате<sup>94</sup>.

---

<sup>91</sup> [Минобрнауки России, 2022].

<sup>92</sup> [Smith et al., 2020, p. 230].

<sup>93</sup> Ibid.

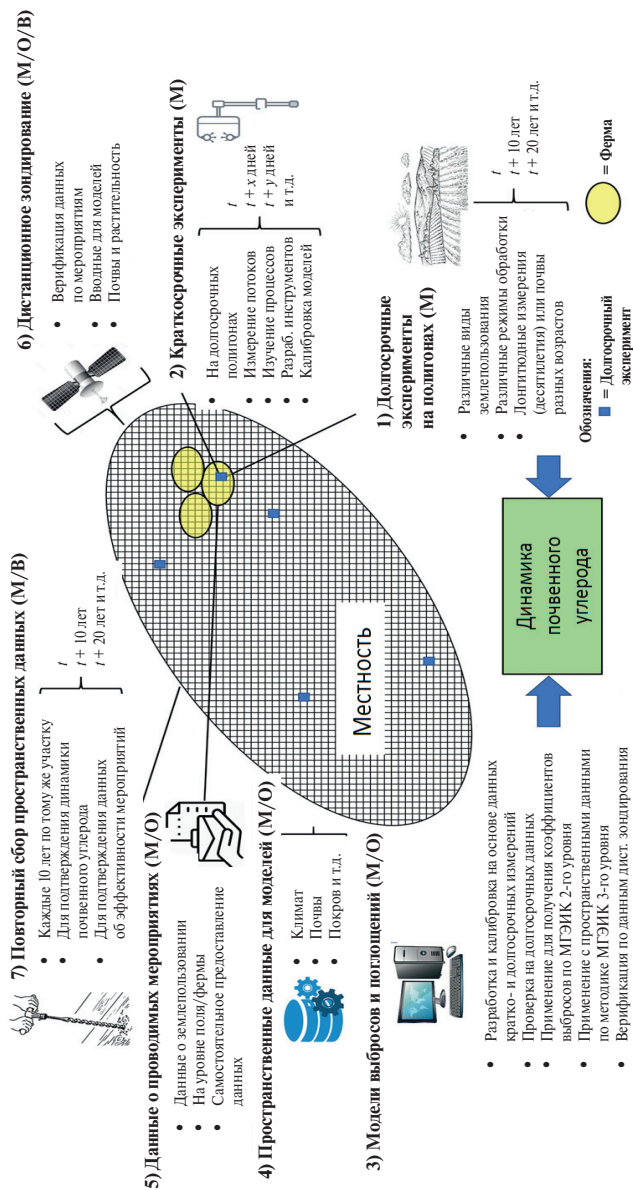
<sup>94</sup> Ibid., p. 232.





**Рис. 6.** Западно-Сибирский меридиональный мегатрансект

Источник: [Минобрнауки России, 2022].



**Рис. 7.** Компоненты системы МОВ для почв с указанием сферы применения (М — мониторинг, О — отчетность, В — верификация)

Источник: По материалам: [Smith et al., 2020, p. 231].

Фактором, усложняющим построение эффективной системы МОВ, является отсутствие полного понимания того, как ряд условий (климат, характер землепользования, режимы обработки и др.) влияют на накопление углерода в почве и на динамику потоков парниковых газов. Дополнительную неопределенность вносит тот факт, что отказ от карбоновых практик или изменчивость климата могут привести к утрате полученного эффекта в части секвестрации углерода. Этот фактор ставит вопрос о необходимой длительности мониторинга показателей накопления углерода и потоков парниковых газов<sup>95</sup>.

В этой связи в ряде стран (Великобритания, Дания и др.) ведутся программы регулярного обследования почв, предусматривающие проведение замеров на одних и тех же участках с различной периодичностью. Такие программы позволяют получить данные, охватывающие большие территории и длительные периоды времени. Их основной недостаток, однако, заключается в том, что изменения в характере землепользования и режимах обработки почв не фиксируются, поэтому наблюдаемые изменения в накоплении углерода сложно отнести на те или иные факторы. В тех редких случаях, когда соответствующие записи велись, они позволяли дополнительно уточнять модели влияния отдельных факторов на показатели почвенного углерода<sup>96</sup>.

Остановимся подробнее на методах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Оценка и мониторинг состояния земной поверхности является ключевым инструментом исследований глобального изменения климата. Классификация и картирование растительности является основной более узкой технической подзадачей, поскольку растительность — важный элемент кругооборота углекислого газа.

Некоторые задачи пространственного количественного картирования и учета агротерриторий в целом являются решенными и представлены рядом международных и национальных платформ для целей точного земледелия. Комбинация спутниковых данных с системами наземного позиционирования точного земледелия

---

<sup>95</sup> [Smith et al., 2020, p. 220].

<sup>96</sup> Ibid.

вполне соответствует задачам учета объемов произрастания разных видов биомассы.

В области качественного картирования растительности чаще всего применяются данные, собранные следующими программами спутников: Landsat (в основном TM и ETM+), SPOT, MODIS, NOAA-AVHRR, IKONOS и QuickBird. Для оценки наземной биомассы в древесных биомах — лиственных умеренных, хвойных и бореальных хвойных зонах — широко используются спутники, оборудованные дистанционным зондированием LiDAR, лазерный сигнал которого имеет возможность проникать сквозь растительный покров и позволяет отражать его многослойную структуру. Для получения снимков более высокого разрешения трехмерное сканирование запасов углерода LiDAR также может выполняться с вертолетов, дронов или других летательных средств.

По типу получаемого сигнала данные можно разделить на цифровые и аналоговые, по способу зондирования — на активные и пассивные.

В табл. 5 представлены некоторые параметры основных спутниковых программ.

Дадим описание некоторых из наиболее распространенных программ.

### **SPOT**

Изображения, получаемые спутниками наблюдения за Землей SPOT, используются для изучения, мониторинга, прогнозирования и управления природными ресурсами и деятельностью человека. Изображения SPOT доступны в полном диапазоне разрешений от 1 км в глобальном масштабе до 2,5 км в местном. Два инструмента визуализации HRV (видимое изображение высокого разрешения) на SPOT 1, 2 и 3 и соответствующие инструменты HRVIR (видимое и инфракрасное изображение высокого разрешения) на SPOT 4 и HRG (геометрия высокого разрешения) на SPOT 5 сканируют в панхроматическом или мультиспектральном режиме. Кроме того, SPOT 4 и 5 также имеют специализированный инструмент формирования изображений растительного покрова SPOT VGT, который собирает данные с пространственным разрешением 1 км и временным — в 1 день.

**Таблица 5.** Основные космические программы

Спутник / программа спутников	Обзорность (полоса обзора, км)	Временное разрешение (периодичность съемки, дней)
Terra MODIS	2 300	1–2
IRS 1C/1D WIFS	810	Нет данных
RadarSAT	50–500	Нет данных
LANDSAT TM, ETM+	185	16
IRS 1C/1D LISS-3	142	24
IRS 1C/1D PAN	70	5
Terra ASTER	60	4–16
SPOT 2–5	60	26
SPOT 6–7	60	Ежедневно (в группировке)
QuickBird	16,5	1–5
IKONOS	11,3	3
WorldView-1, 2, 3, 4	13,1–17,6	1–5
KOMPOSAT-3	16,0	2–3
FORMOSAT-2	Нет данных	1
GeoEye-1	17,3	2–3
Pleiades-1A/1B	20	Ежедневно (в группировке)
EROS B1	7	3

Благодаря множеству сенсорных инструментов и частоте измерений спутники SPOT способны ежедневно получать изображение любого места на Земле и иметь преимущество картографирования растительности в изменяемых масштабах (региональном, национальном, континентальном или глобальном). Формат SPOT VGT полезен для обнаружения крупномасштабной динамики изменений окружающей среды из-за широкой полосы обзора и чувствительности изображений к росту растительности. Кроме того, изображения SPOT также эффективны для наблюдения за распространением и ростом определенных видов растений.

## MODIS

MODIS (спектрорадиометр с визуализацией среднего разрешения) является основным прибором, размещенным на борту спутников terra (EOS AM) и aqua (EOS PM). Terra MODIS и aqua MODIS вместе способны сплошным образом покрывать всю земную поверхность каждые 1–2 дня. Собранные изображения MODIS, включающие 36 спектральных каналов с пространственным разрешением от 250 м до 1 км, в основном применяются для картирования динамики и процессов растительности в крупном масштабе. Данные ETM+, представленные мультиспектральными данными с пространственным разрешением 30 м, используются для картирования типов леса и площади нелесной растительности.

По результатам обработки изображений в разных областях спектра получают показатель плотности растительного покрова и количества в нем хлорофилла — вегетационный индекс (ВИ). За последние несколько десятилетий для широкополосных оптических датчиков были разработаны ряд вегетационных индексов, которые можно разделить на три категории:

- ВИ, использующие только красный и ближний инфракрасный диапазоны спектра;
- ВИ, использующие синий, красный и ближний инфракрасный диапазоны;
- ВИ, использующие ближний инфракрасный и коротковолновый инфракрасный диапазоны.

Для примера: значения NDVI (*normalized difference vegetation index*) лежат в диапазоне от 0,20 до 0,95. Чем лучше развита растительность во время вегетации, тем выше значение NDVI, что находит отражение на карте распределения. Для визуальной оценки применяется цветовая шкала: серый цвет означает состояние растений ниже критического (ниже 0,25), красный — удовлетворительное, желтый — среднее, зеленый — отличное развитие биомассы. Эти данные нужно уметь интерпретировать с учетом фазы вегетации и вида культуры на поле.

Полученные индексы в сочетании с глобальной метеорологией и набором конкретных параметров биомассы позволяют смодели-

### Карбоновое земледелие: условия для прорыва

ровать рост растительности в различных условиях и прогнозировать общий объем биомассы. Таким образом, ДЗЗ в сочетании с пространственно-распределенной математической моделью углеродного цикла открывает перспективы для мониторинга потока углерода на суше с высоким пространственным (30 мт) и временным (3–5 лет) разрешением<sup>97</sup>.

---

<sup>97</sup> [Ramya et al., 2021, p. 754].

## VI. ВЫВОДЫ

Сельхозпроизводство и иные виды землепользования могут сыграть не меньшую роль в достижении целей низкоуглеродного развития, чем лесное хозяйство. Одна из причин этого в том, что накопление углерода в биомассе лесных растений может не сопровождаться накоплением органического углерода в почве. Исследования свидетельствуют о том, что высокие показатели накопления почвенного углерода могут наблюдаться и в нелесных экосистемах. В этой связи в оперативном плане реализации стратегии низкоуглеродного развития России — страны с огромным запасом залежных земель — целесообразно сделать отдельный акцент на проектах карбонового земледелия, которые можно поставить в один ряд с лесоклиматическими проектами.

Для максимально широкого внедрения принципов карбонового земледелия необходима государственная программа стимулирования перехода на такие принципы. Целесообразно привлечь сельхозпроизводителей к участию в разработке такой программы с тем, чтобы преодолеть неизбежный на первоначальном этапе скептицизм по отношению к ней. Параметры такой программы, в том числе ее целевые показатели, должны обеспечивать справедливое определение результатов и защищать участников от экономических рисков, главный из которых связан с недостижением результатов из-за внешних факторов (например, из-за погодных условий).

Важнейшим источником финансирования программы карбонового земледелия должен стать углеродный рынок, на котором сельхозпроизводители и землевладельцы могли бы реализовывать сгенерированные единицы сокращения или поглощения выбросов по привлекательной цене. Опираясь на имеющийся международный опыт, можно утверждать, что более высокая цена формируется на «обязательных» рынках, где на покупателей распространя-



## Карбоновое земледелие: условия для прорыва

ются законодательно установленные требования по сокращению выбросов. Необходимые объемы торговли (спроса и предложения) на таком рынке могут быть обеспечены только его масштабом, поэтому целесообразно организовывать международный рынок, например, в кооперации со странами БРИКС.

Привлекательность же углеродных единиц для покупателей может обеспечить только наличие пользующейся доверием системы мониторинга, отчетности и верификации. На текущем этапе одной из основных задач в рамках выстраивания такой системы является получение актуальных и реальных данных о потоках парниковых газов и факторах, определяющих динамику накопления почвенного углерода, в различных экосистемах в разных климатических регионах России. Данные инструментальных измерений на российских карбоновых полигонах, запущенных Минобрнауки, позволят как получить коэффициенты выбросов для реализации методик МГЭИК 2-го уровня, так и построить и (или) уточнить соответствующие математические модели. Этот массив данных сформирует научную базу для расчета эффекта проектов карбонового земледелия.

## Литература

*Иванов А.Ю., Дурманов Н.Д.* (ред.) (2021). Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России (экспертный доклад). 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд. дом Высшей школы экономики.

*Иванов А.Л., Столбовой В.С.* (2019). Инициатива «4 промилле» — новый глобальный вызов для почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. Вып. 98. С. 185–202.

*Кавешников Н.* (2017). Создание системы торговли выбросами парниковых газов ЕС: кто определил дизайн // Европейский процесс: страны и регионы. № 6. С. 58–69. <[https://mgimo.ru/upload/iblock/d5b/Создание\\_СТВ\\_\(Совр\\_Европа\).pdf](https://mgimo.ru/upload/iblock/d5b/Создание_СТВ_(Совр_Европа).pdf)> (дата обращения: 21.02.2022).

*Кулистикова Т.* (2022). Путь к углеродной нейтральности. Какую роль будет играть сельское хозяйство в декарбонизации экономики // Агроинвестор. 4 февраля 2022 г. <<https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/37492-put-k-uglerodnoy-neytralnosti-kakuyu-rol-budet-igrat-selskoe-khozyaystvo-v-dekarbonizatsii-ekonomiki>> (дата обращения: 21.02.2022).

МГЭИК (2006). Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. Т. 1. Общие руководящие указания и отчетность.

Минобрнауки России (2021). Карбоновые полигоны // Интернет-сайт Минобрнауки России. <<https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony>> (дата обращения: 21.02.2022).

Минобрнауки России (2022). Карбоновые полигоны Западной Сибири позволят проводить мониторинг климатических изменений от северной тайги до арктической тундры // Интернет-сайт Минобрнауки России, 31.01.2022. <[https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/?ELEMENT\\_ID=46613](https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=46613)> (дата обращения: 21.02.2022).

Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России» (2018). Т. 1 «Оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. А.А. Бедрицкого. М.: ГЕОС.

Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России» (2019). Т. 2 «Опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: ООО «Издательство МБА».

ООН (2006). Обновленные руководящие принципы РКИК ООН для представления информации о годовых кадастрах после включения положений решения. Вспомогательный орган для консультирования по научным и техническим аспектам. 25-я сессия, 6–14 ноября 2006 г. // 14/СР.11.

Правительство РФ (2015). Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2015 г. № 716-р «Об утверждении Концепции формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации»

Правительство РФ (2022). Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 гг. Утверждена Постановлением Правительства РФ от 8 февраля 2022 г. № 133.

Российская Федерация (2017). Седьмое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола. М.: Минприроды РФ и Росгидромет.

Совет министров СССР и ЦК ВКП (б) (1948). Постановление Совета министров СССР и ЦК ВКП (б) от 20 октября 1948 г. № 3960 «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части Советского Союза».

*Столбовой В.С., Савин И.Ю.* (2018). Могут ли почвы России влиять на изменение климата? // Природно-ресурсные ведомости. № 9 (456).

*Шварц Е.А., Плужников О.Б.* (2022). За деревьями толку не видно // Коммерсант. 11 февраля. <<https://www.kommersant.ru/doc/5207762>> (дата обращения: 21.02.2022).

Эксперт (2022). На бизнес-форуме России и Бразилии предложили доказать углеродную нейтральность двух стран. 17 февраля. <<https://expert.ru/2022/02/17/na-biznes-forume-rossii-i-brazilii-predlozhili-dokazat-uglerodnyu-neytralnost-dvukh-stran>> (дата обращения: 21.02.2022).

*Basak R.* (2006). Monitoring, reporting, and verification requirements and implementation costs for climate change mitigation activities: Focus on Bangladesh, India, Mexico, and Vietnam // CCAFS Working Paper No. 162.

CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen; Denmark.

CDM (2015). CDM validation and verification standard. Version 09.0 // CDM-EB65-A04-STAN.

COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021a). Executive Summary of the Technical Guidance Handbook — setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU // Report to the European Commission, DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007.

COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021b). Technical Guidance Handbook — setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU // Report to the European Commission, DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007.

European Commission (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources // OJ L 328. 21 December. P. 82–209.

European Commission (2019). Commission Delegated Regulation (EU) 2019/807 of 13 March 2019 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council as regards the determination of high indirect land-use change-risk feedstock for which a significant expansion of the production area into land with high carbon stock is observed and the certification of low indirect land-use change-risk biofuels, bioliquids and biomass fuels // OJ L 133. 21 May. P. 1–7.

European Commission (2021a). First Written Submission by the European Union in the WTO Panel Proceedings «European Union and Certain Member States — Certain Measures Concerning Palm Oil and Oil Palm Crop-Based Biofuels» // DS593. 5 March. <[https://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2021/april/tradoc\\_159550.docx.pdf](https://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2021/april/tradoc_159550.docx.pdf)> (дата обращения: 21.02.2022).

European Commission (2021b). First Written Submission by the European Union in the WTO Panel Proceedings «European Union and Certain Member States — Certain Measures Concerning Palm Oil and Oil Palm Crop-Based Biofuels» // DS600. 30 November. <[https://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2021/december/tradoc\\_159971.pdf](https://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2021/december/tradoc_159971.pdf)> (дата обращения: 21.02.2022).

European Commission (2021c). Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the Functioning of the European Carbon Market in 2020 pursuant to Articles 10 (5) and 21 (2) of Directive 2009/29/EC (as amended by Directive 2009/29/EC and Directive (EU) 2018/410). Brussels. 26 October // COM (2021) 962 final.

European Commission (2021d). EU Emissions Trading System — Auctioning // Веб-сайт Европейской комиссии. <<https://ec.europa.eu/clima/eu-ac>

tion/eu-emissions-trading-system-eu-ets/auctioning\_en> (дата обращения: 21.02.2022).

European Commission (2022). EU Emissions Trading System (EU ETS) // Веб-сайт Европейской комиссии. <[https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en)> (дата обращения: 21.02.2022).

European Union (2015). Decision (EU) 2015/1814 of the European Parliament and of the Council of 6 October 2015 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and amending Directive 2003/87/EC. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02015D1814-20180408>> (дата обращения: 21.02.2022).

*Garthwaite J.* (2021). Soils or plants will absorb more CO<sub>2</sub> as carbon levels rise — but not both, Stanford study finds // Stanford News Service. 24 March. <<https://news.stanford.edu/press/view/38728>> (дата обращения: 21.02.2022).

*Grubb M. et al.* (2009). Climate Policy and Industrial Competitiveness: Ten Insights from Europe on the EU Emissions Trading System // Climate and Energy Paper Series 09. <<https://climatestrategies.org/wp-content/uploads/2014/11/climate-strategies-gmf-paper-3aug09.pdf>> (дата обращения: 21.02.2022).

*Heathcote A.J., Downing J.A.* (2012). Impacts of Eutrophication on Carbon Burial in Freshwater Lakes in an Intensively Agricultural Landscape // *Ecosystems*. Vol. 15. No. 1 (January). P. 60–70.

ICE Futures Europe (2010). ICE ECX Contracts: EUAs and CERs. Getting Started // January. <[https://www.theice.com/publicdocs/ICE\\_ECX\\_getting\\_started.pdf](https://www.theice.com/publicdocs/ICE_ECX_getting_started.pdf)> (дата обращения: 21.02.2022).

*Mizrach B., Otsubo Y.* (2014). The market microstructure of the European climate exchange // *Journal of Banking and Finance*. No. 39. P. 107–116.

*Vertyankina V.* (2019). Russia's Experience in Improving Soil Carbon and Soil Fertility // Koronivia Joint Work on Agriculture workshop «Improved soil carbon, soil health and soil fertility under grassland and cropland as well as integrated systems, including water management». 18–19 June.

*Ramya et al.* (2021). Remote Sensing Application in Carbon Sequestration // *Biotica Research Today*. No. 3 (9). P. 752–754.

Sichuan Zhongding Huizhi Socio-Economic Consulting Co., Ltd (2022). Research on the current state of China's national emissions trading scheme and development recommendations at the backdrop of «Double Carbon Goal». February 2022. <<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1724975593264089271&wfr=spider&for=pc>> (дата обращения: 01.05.2022).

*Smith P. et al.* (2007). Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of*

## Литература

the Intergovernmental Panel on Climate Change // Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A. (eds). Cambridge: Cambridge University Press; United Kingdom and New York, NY, USA.

*Smith P. et al.* (2014). Chapter 11. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) // Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., Stechow C. von, Zwickel T., Minx J.C. (eds). Cambridge: Cambridge University Press; United Kingdom and New York, NY, USA.

## Об авторах

**Иванов А.Ю.** — соруководитель авторского коллектива, директор Института права и развития ВШЭ — Сколково, директор Международного центра конкурентного права и политики БРИКС, научный руководитель Центра технологического трансфера Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

**Куликов Р.С.** — соруководитель авторского коллектива, к.м.н., заместитель директора Центра технологического трансфера Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

**Ровнов Ю.Е.** — старший научный сотрудник Института права и развития ВШЭ — Сколково факультета права Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

**Калимуллина М.Э.** — к.э.н., старший научный сотрудник Института права и развития ВШЭ — Сколково факультета права Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

**Беляева М.А.** — аналитик Международного центра конкурентного права и политики БРИКС

**Пиксендеев К.В.** — эксперт Центра технологического трансфера Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

*Научное издание*

**КАРБОНОВОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ:  
УСЛОВИЯ ДЛЯ ПРОРЫВА**

*Экспертный доклад*

*Под редакцией А.Ю. Иванова, Н.Д. Дурманова*

Зав. книжной редакцией *Е.А. Бережнова*

Редактор *Н.В. Андрианова*

Компьютерная верстка и графика: *О.А. Быстрова*

Корректор *Н.В. Андрианова*

Дизайнер *Д.П. Грабусов*

Все новости издательства — <http://id.hse.ru>

Подписано в печать 05.10.2022. Формат 60×88/16  
Гарнитура Newton. Усл. печ. л. 3,9. Уч.-изд. л. 2,4  
Тираж 150 экз. Изд. № 2869. Заказ №

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20,  
тел.: +7 495 624-40-27

Отпечатано ООО «Фотоэксперт», 109316, Москва,  
Волгоградский проспект, д. 42



